

Spiroergometrische Untersuchung und sportliche Ausdauerleistung

von

Bernhard Schießl

aus

Weiden

Aus der Medizinischen Poliklinik
der Universität Erlangen-Nürnberg
Direktor: Professor Dr. med. C. Korth

Spiroergometrische Untersuchung und sportliche Ausdauerleistung

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt

von

Bernhard Schießl

aus

Weiden

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg



Dekan: Prof. Dr. G. Koch

Referent: Prof. Dr. J. Schmidt

Korreferent: Prof. Dr. C. Korth

Tag der mündlichen Prüfung: 30.5.1972

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. Einleitung	1
2. Methode	2
3. Kritik der Methode	4
4. Ergebnisse	4
4.1. Die Ergebnisse von 9 spiroergometrischen Untersuchungen bei Sportfachlehrern.	4
4.1.1. Die Herzfrequenz	4
4.1.2. Der Blutdruck	6
4.1.3. Die Sauerstoffaufnahme	7
4.1.4. Der Sauerstoffpuls	8
4.1.5. Die Kohlendioxydabgabe	8
4.1.6. Der respiratorische Quotient	8
4.1.7. Atemfrequenz und Atemäquivalent	9
4.2. Die Gegenüberstellung der spiroergometrischen Werte mit den Ergebnissen der Langläufe.	10
4.2.1. Vergleich der Ergebnisse von 1000 m - Lauf und Spiroergometrie bei den Fachlehrern.	10
4.2.1.1. Der Vergleich zwischen den Herzfrequenzen bei 100 Watt und den über 1000 m gelaufenen Zeiten.	10

4.2.1.2.	Vergleich zwischen Sauerstoffpuls bei 100 Watt und den über 1000 m gelaufenen Zeiten.	10
4.2.1.3.	Die Beziehung der Herzfrequenz und des Sauerstoffpulses bei 200 Watt zu den über 1000 m gelaufenen Zeiten.	11
4.2.1.4.	Vergleich der Zeiten eines 100 m - Laufes mit den über 1000 m gelaufenen Zeiten.	11
4.2.2.	Ergebnisse von 5000 m - Lauf und Spiroergometrie bei den Alterssportlern.	11
4.2.2.1.	Vergleich der einzelnen Altersgruppen hinsichtlich des Blutdrucks beim 100 Watt-Test.	11
4.2.2.2.	Vergleich der einzelnen Altersgruppen hinsichtlich der Herzfrequenz beim 100 Watt-Test.	12
4.2.2.3.	Vergleich der einzelnen Altersgruppen hinsichtlich der über 5000 m gelaufenen Zeiten.	12
4.2.2.4.	Vergleich zwischen den Herzfrequenzen beim 100 Watt-Test und den über 5000 m gelaufenen Zeiten.	12

	Seite
5. Diskussion	13
5.1. Die verbesserte Leistungsfähigkeit der Sportfachlehrer.	13
5.1.1. Die Auswirkungen der Sportlehrerausbildung auf die Leistungssteigerung während der Untersuchungszeit.	13
5.1.2. Die Vorstellungen von HOLLMANN und von ROSKAMM und Mitarb. über die Erzielung eines kardiotropen Trainingseffektes.	14
5.1.3. Die Ursachen der Leistungsverbesserung bei den Sportfachlehrern.	15
5.1.3.1. Die verringerte Sauerstoffaufnahme	15
5.1.3.2. Die verminderte Kohlendioxydabgabe	16
5.1.3.3. Der verringerte respiratorische Quotient	16
5.1.3.4. Die Auswirkungen der geringeren Sauerstoffaufnahme und der verminderten Produktion an Milchsäure auf das Herzminutenvolumen.	17
5.1.3.5. Beziehung zwischen der Verminderung der Herzfrequenz bei den Sportfachlehrern und einer Vergrößerung der kardiopulmonalen Kapazität.	18
5.1.3.6. Die Verminderung des Blutdrucks	19
5.2. Zusätzliche Untersuchungen	20
5.2.1. Die Beziehung des systolischen Blutdrucks der weiblichen und männlichen Studenten bei gleicher Belastung	20

5.2.2.	Korrelation von spiroergometrischen Werten zueinander.	20
5.3.	Die Beziehung zwischen spiroergometrischen Werten und sportlicher Ausdauerleistung.	20
5.3.1.	Die unterschiedlichen Beziehungen zwischen ergometrischen Werten und sportlicher Ausdauerleistungen bei den Untersuchungen von FREY und von TABORSKY und HORAK.	21
5.3.2.	Die Beziehung spiroergometrischer Werte zu sportlicher Ausdauerleistung bei den Sportfachlehrern.	22
5.3.2.1.	Die Korrelation zwischen den Herzfrequenzen bei 100 Watt und den Zeiten des 1000 m - Laufes.	22
5.3.2.2.	Die Korrelation zwischen den Herzfrequenzen bei 200 Watt und den Zeiten des 1000 m - Laufes.	23
5.3.3.	Die Bedeutung der Auswahl des Kollektivs für die Eignung der Ergometrie, eine Aussage über die Leistungsfähigkeit in sportlichen Ausdauerdisziplinen zu machen.	24
5.3.4.	Die Bedeutung der Belastungsstufe auf dem Ergometer für die Aussagekraft der Spiroergometrie über die Leistungsfähigkeit in sportlichen Ausdauerdisziplinen.	25
5.3.5.	Die Bedeutung des spezifischen Ausdauertrainings für die Leistungsfähigkeit am Fahrradergometer.	25

	Seite
5.4. Die Untersuchungen der Alterssportler	28
5.4.1. Die ergometrischen Befunde	28
5.4.1.1. Der Blutdruck	28
5.4.1.2. Die Herzfrequenz	28
5.4.2. Die Zeiten des Geländelaufes	28
5.4.3. Die Beziehung zwischen ergometrischen Werten und sportlicher Ausdauerleistung bei den Alterssportlern.	28
6. Zusammenfassung	30
7. Literatur	33
8. Legenden zu den Abbildungen	36



Digitized by the Internet Archive
in 2026

SPIROERGOMETRISCHE UNTERSUCHUNG UND SPORTLICHE

AUSDAUERLEISTUNG

1. Einleitung:

Das Ergebnis der spiroergometrischen Untersuchung wird allgemein als Maßstab zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit herangezogen. Uns interessiert, inwieweit dieses Ergebnis eine Aussage darüber erlaubt, welchen Erfolg ein Untersucher im Wettkampf bei sportlichen Ausdauerdisziplinen erzielen kann. Läßt die auf dem Prüfstand erbrachte Leistung eine Prognose über den Erfolg im sportlichen Wettkampf zu? Bei welcher Belastungsart und in welchen Parametern kommt eine sportspezifische Qualifikation für Ausdauerleistungen am besten zum Ausdruck?

Zur Beantwortung dieser Fragen muß zunächst untersucht werden, ob eine Abhängigkeit der am Fahrradergometer ermittelten Leistungsfähigkeit von einem spezifischen Ausdauertraining (Ausdauertraining auf dem Fahrradergometer) besteht. Das heißt, es muß vorerst die Trainierbarkeit am Fahrradergometer selbst untersucht werden.

Die Kardinalfrage lautet: Ist die bisherige Methode der Ergometrie geeignet, die Dauerleistungsfähigkeit eines Sportlers zu beurteilen oder sind Verbesserung und Ergänzungen notwendig?

2. Methode:

- a) 26 Studenten und 12 Studentinnen wurden innerhalb von 6 Wochen 9 mal einer spiroergometrischen Untersuchung auf dem Fahrradergometer im Sitzen unterzogen. Die Studenten waren im Durchschnitt 22 (19-29), die Studentinnen 21 (19-24) Jahre alt.

Alle Untersuchten standen kurz vor dem Abschluß einer Ausbildung zum Sportfachlehrer. Das Ziel dieser Untersuchungen war es, zu einer Aussage über den Trainingsreiz der 9 Belastungsprüfungen zu kommen. Da gleichzeitig die Brauchbarkeit eines offenen, eines geschlossenen und eines ventilgesteuerten Spirometersystems geprüft werden sollte, wurden alle Probanden jeweils dreimal an den verschiedenen Systemen untersucht. Es wurden durchschnittlich drei Belastungsstufen durchgehalten. Die Belastung dauerte 6 Minuten auf jeder Stufe. Bei der ersten Untersuchung betrug die Anfangsbelastung 100 Watt; die folgenden Belastungsstufen wurden jeweils auf Grund der in der letzten Minute erreichten Herzfrequenz bestimmt. Während der ersten Untersuchung erreichte jeder Proband während der letzten Belastungsstufe eine Herzfrequenz, die 185/Minute überstieg, so daß diese Belastung als maximal angesehen werden darf. Die Wattstufen der ersten Untersuchung wurden bei allen späteren Belastungsstufen beibehalten, auch wenn sich dann eine maximale Belastung nicht mehr erzielen ließ.

Zur Beantwortung unserer Fragen legen wir die Meßwerte der ersten und der letzten (der neunten) Belastungsprüfung zugrunde, die beide mit einem geschlossenen System (Magnetest Typ 610, Dargatz) durchgeführt wurden. Die Herzfrequenz war mit Hilfe des Elektrokardiogramms gemessen worden, der Blutdruck unblutig nach der Methode von Boucke-Brecht.

- b) Zum Vergleich der Leistungsfähigkeit am Fahrradergometer mit der Dauerleistungsfähigkeit im Laufen wurden die Zeiten eines 1000m - Prüfungslaufes herangezogen.

Außerdem wurden zur Beantwortung der Frage, inwieweit man von der auf dem Prüfstand erbrachten Leistung auf den Erfolg in sportlichen Ausdauerübungen schließen kann, die Zeiten eines Langlaufes für ältere Männer, des "Internationalen Altherrenlaufes" Bad Brückenau, mit den Werten eines sogenannten 100 Watt-Tests verglichen, der bei einigen Altherren am Vortage des Langlaufes vorgenommen wurde. Die Belastung am Fahrradergometer betrug 100 Watt über eine Dauer von 10 Minuten. Es wurden die Herzfrequenz und der Blutdruck in Ruhe, während der Belastung und in der Erholungsphase, gemessen. Bei dem Langlauf handelte es sich um einen 5000m - Geländelauf. Die Teilnehmer, die zwischen 55 und 89 Jahre alt waren, wurden in fünf Altersklassen eingeteilt. Die Werte des 100 Watt-Tests wurden mit den Zeiten des 5000m - Laufes korreliert. wobei wegen der geringen Anzahl der Teilnehmer in

den zwei ältesten Klassen nur die Werte der drei jüngsten herangezogen wurden.

3. Kritik der Methode:

Während die Leistungsbereitschaft aller Probanden am Fahrradergometer annähernd gleich gesetzt werden kann, so dürfte sie bei den Alterssportlern unterschiedlich gewesen sein. Während für die Sportfachlehrer der 1000m - Lauf eine für das Examen wichtige Prüfung war, so daß ihre Leistungsbereitschaft als gut anzusehen war, hatten sich einige Alterssportler nur das Durchhalten der Strecke zum Ziel gesetzt. Bei der ergometrischen Belastungsprobe fiel auf, daß sich einige Altherren ziemlich unbeholfen am Ergometer verhielten. Der unterschiedliche Leistungswille und die schlechte Technik einiger Alterssportler stellen sicher Fehlerquellen für eine statistische Auswertung dar.

4. Ergebnisse:

4.1. Die Ergebnisse der 9 spiroergometrischen Untersuchungen

4.1.1. Die Herzfrequenz

- a) Bei den männlichen Fachlehrern wurde sowohl bei 100 Watt (Abb.1) als auch bei der stufenweisen Belastung während der jeweils höchsten Belastungsstufe (Abb.2) zwischen der ersten und der letzten Untersu-

chung (Abstand: 6 Wochen) eine signifikante Verminderung der Herzfrequenz festgestellt. Die Studentinnen verzeichneten bei 100 Watt überhaupt keine und bei der jeweils höchsten Belastungsstufe der stufenweisen Belastung eine statistisch nicht gesicherte, aber deutliche Abnahme der Herzfrequenz.

- b) Bei allen 9 Untersuchungen nahm die Standardabweichung der Herzfrequenz bei den Studenten von der ersten Belastungsstufe bis zur letzten kontinuierlich ab (Abb.4a). Die Streuung der Herzfrequenz wurde also mit steigender Belastung geringer. Im Gegensatz dazu nahm die Standardabweichung der Herzfrequenz bei den Studentinnen mit steigender Belastung zu (Abb.4b).
- c) Im Verlauf der Erholung (Abb.3) hatten die Studenten bei der letzten Untersuchung einen signifikant schnelleren Abfall als bei der ersten (Abb.3a), die Studentinnen einen ebenfalls schnelleren, aber statistisch nicht gesichert schnelleren Abfall der Herzfrequenz (Abb.3b).
- d) Während die Standardabweichung der Studenten und Studentinnen bei Belastung vom ersten zum letzten Durchgang etwas geringer wurde, erfuhr sie bei der Erholung der Studenten einen Zuwachs von $s = \pm 10,0$ auf $s = \pm 14,8$, bei den Studentinnen einen solchen von $s = \pm 5,1$ auf $\pm 9,5$, das heißt, daß die durchschnittliche

Abweichung der Herzfrequenz vom Mittelpunkt im Laufe der sechs Wochen bei Belastung abnahm und sich in der Erholungsphase vergrößerte. Das Kollektiv zeigte also nach Abschluß der 9 Belastungsprüfungen eine größere Einheit während der Belastung, aber auch eine wesentlich geringere Übereinstimmung während der Erholungsphase.

- e) Um die Fehlerbreite zu erfahren, die in Kauf genommen werden muß, wenn von den ergometrischen Werten einer niedrigen Belastungsstufe auf die entsprechenden Daten einer höheren Stufe geschlossen werden soll, wurden die Herzfrequenzen bei 100 Watt mit den Herzfrequenzen bei 200 Watt korreliert (Abb.4c).

Es ergab sich mit $r = + 0,6$ eine relativ schwache Beziehung (Abb.4). Ebenso zeigte der Vergleich der Herzfrequenz bei 100 Watt mit dem maximalen O_2 -Puls mit $r = + 0,38$ nur eine schwache Beziehung (Abb.7d).

4.1.2. Der Blutdruck

- a) Bei den Studenten verringerte sich bei einer Belastung von 100 Watt der systolische und der diastolische Blutdruck im Lauf der sechs Wochen signifikant, bei den höheren Belastungen nicht mehr signifikant. Die Abnahme des systolischen und diastolischen Blutdrucks bei den Studentinnen ist auf allen Belastungsstufen deutlich, aber nicht signifikant (Abb.5).

- b) Die Standardabweichung des systolischen Blutdruck der Studentinnen bei 100 Watt war bei der ersten Belastungsprobe mit $s = \pm 18,1$ fast doppelt so groß als bei den letzten mit $s = \pm 9,4$.

Weiterhin ergab sich bei den Studentinnen eine wesentlich größere Streuung des diastolischen Blutdrucks bei der ersten Untersuchung mit $s = \pm 12,9$ als bei der letzten mit $s = \pm 3,2$.

Die Streuung während einer Belastungsprobe wurde bei den Studenten und den Studentinnen proportional zur Belastung größer.

- c) Bei 100 Watt war der systolische Blutdruck der Studenten in allen Untersuchungen signifikant höher als derjenige der Studentinnen (Abb.6).

4.1.3. Die Sauerstoffaufnahme

- a) Bei den Studenten (Abb.7a) und bei den Studentinnen (Abb.7b) wurde im Vergleich zum ersten Durchgang eine (statistisch nicht gesicherte) Abnahme des Sauerstoffverbrauchs auf allen Belastungsstufen des letzten Durchgangs festgestellt.
- b) Die Streuung der Werte nahm bei den Studenten und bei den Studentinnen mit steigender Belastung zu. Die Standardabweichung war bei der ersten Untersuchung bei den Studenten mit $s = \pm 32,8$ und bei den Studentinnen mit

$s = \pm 11,3$ wesentlich größer als in der letzten mit
 $s = \pm 18,5$ bzw. $\pm 4,5$.

- c) Bei einem Vergleich zwischen der Sauerstoffaufnahme während einer Belastung von 100 Watt und 200 Watt ergab sich mit $r = + 0,63$ nur eine relativ schwache Beziehung (Abb.7c).

4.1.4. Der Sauerstoffpuls

Der Sauerstoffpuls verringerte sich bei den Studenten (Abb.8a) und bei den Studentinnen (Abb.8b) im Laufe der 6 Wochen bei submaximaler Belastung (aber nicht signifikant).

Bei maximaler Belastung war keine Verminderung festzustellen.

4.1.5. Die Kohlendioxydabgabe

Bei den Studenten (Abb.9a) war bei 100 Watt im letzten Durchgang die Kohlendioxydabgabe im Vergleich zum ersten Durchgang signifikant vermindert, was sich bei höheren Belastungen statistisch nicht mehr sichern ließ.

Bei den Studentinnen (Abb.9) war die Verminderung der Kohlendioxydabgabe auf allen Belastungsstufen signifikant. Bei Studenten und Studentinnen nahm die Standardabweichung mit steigender Belastung zu.

4.1.6. Respiratorischer Quotient

Der respiratorische Quotient der Studenten (Abb.10a)

zeigte in der letzten Untersuchung im Vergleich zur ersten eine signifikante Abnahme auf allen Belastungsstufen.

Beim respiratorischen Quotienten der Studentinnen (Abb.10b) trat in der letzten Untersuchung eine signifikante Abnahme bei 125 Watt und bei 150 Watt auf. Bei der Belastung von 100 Watt wurde im 9.Durchgang sogar eine geringe Erhöhung im Vergleich zum ersten festgestellt.

4.1.7. Atemfrequenz und Atemäquivalent

Die Atemfrequenz und das Atemäquivalent änderten sich von der ersten bis zur letzten Untersuchung nicht.

Zusammenfassend läßt sich sagen:

Bei der letzten Untersuchung hatten die Sportfachlehrer bei gleicher Belastung einen geringeren Sauerstoffverbrauch, eine verminderte Kohlendioxydabgabe, einen niedrigeren respiratorischen Quotienten, eine Abnahme der Herzfrequenz und einen geringeren Blutdruck als bei der ersten Untersuchung. Das aber heißt: die körperliche Leistungsfähigkeit wurde eindeutig verbessert.

Am Ende der 9 ergometrischen Untersuchungen war zudem bei den Studenten und Studentinnen eine geringere Streuung der Herzfrequenz, des Sauerstoffverbrauchs und der Blutdruckwerte während der Belastung festzustellen. Auffallend war dagegen

die größere Streuung der Herzfrequenz in der Erholungsphase sowohl bei den Studenten als auch bei den Studentinnen. Das Kollektiv zeigte also nach den 9 Untersuchungen eine größere Übereinstimmung während der Belastung, eine geringere in der Erholungsphase.

4.2. Die Gegenüberstellung der spiroergometrischen Werte mit den Ergebnissen der Langläufe.

4.2.1. Vergleich der Ergebnisse von 1000 m Lauf und Spiroergometrie bei den Fachlehrern.

4.2.1.1. Vergleich zwischen den Herzfrequenzen bei 100 Watt und den über 100 ^m Watt gelaufenen Zeiten.

Der Vergleich zwischen den Pulsfrequenzen bei 100 Watt - und den über 1000 m gelaufenen Zeiten erbrachte mit $r = + 0,2$ nur eine schwache Korrelation (Abb.12), das heißt, von einer niedrigen Pulsfrequenz beim 100 Watt-Test auf eine gute Zeit beim 1000m-Lauf kann nur mit einer großen Fehlerbreite geschlossen werden. Nach Wegnahme der in Klammer gesetzten, weit gestreuten Werte ergab sich mit $r = + 0,68$ eine hohe Korrelation. Die Begründung für die Ausklammerung der von der Normalverteilung abweichenden Werte erfolgt später (S.22).

4.2.1.2. Vergleich zwischen Sauerstoffpuls bei 100 Watt und den über 1000m gelaufenen Zeiten.

Der Sauerstoffpuls bei 100 Watt korrelierte mit den über 1000m gelaufenen Zeiten mittelstark mit $r = - 0,52$ (Abb.13).

4.2.1.3. Die Beziehung der Herzfrequenz und des Sauerstoffpulses bei 200 Watt zu den über 1000m gelaufenen Zeiten.

Die Herzfrequenz (Abb.14a) wie auch der Sauerstoffpuls (Abb.14b) bei einer Belastung von 200 Watt ergaben mit jeweils $r = 0$ überhaupt keine Beziehung zu den über 1000m gelaufenen Zeiten.

Ohne die ausgeklammerten Werte war die Beziehung mit $r = + 0,3$ bzw. $r = + 0,38$ zwar wesentlich höher, aber doch viel geringer als die Korrelation dieser zwei Parameter bei 100 Watt. Das bedeutet, daß beim Schluß auf eine gute 1000m Zeit von einer niedrigen Herzfrequenz bei 200 Watt mit einem noch größeren Fehler zu rechnen ist als von einer niedrigen Herzfrequenz bei 100 Watt.

4.2.1.4. Vergleich der Zeiten eines 100m - Laufes mit den über 1000m gelaufenen Zeiten.

Der Vergleich der Zeiten eines 100m - Laufes mit den Zeiten des 1000m - Laufes erbrachte mit $r = + 0,55$ eine relativ hohe Korrelation (Abb.11).

4.2.2. Vergleich der Ergebnisse von 5000m - Lauf und Spiroergometrie bei den Alterssportlern.

4.2.2.1. Vergleich der einzelnen Altersgruppen hinsichtlich des Blutdrucks beim 100 Watt-Test.

Der Blutdruck verhielt sich in den einzelnen Altersgruppen

vor, während und nach Belastung so, daß der systolische Blutdruck mit dem Alter zunahm, während der diastolische Blutdruck sich mit zunehmendem Alter verminderte. Die jüngste Klasse erreichte die geringste, die zweite Klasse eine höhere und die älteste Gruppe die höchste Amplitude des Blutdrucks (Abb.18).

4.2.2.2. Vergleich der einzelnen Altersgruppen hinsichtlich der Herzfrequenzen beim 100 Watt-Test.

Der Vergleich der Herzfrequenzen beim 100 Watt-Test unter den Altersklassen ergab die gleiche Reihenfolge, so daß die mittlere Klasse die geringste, die jüngste schon eine höhere und ^{die} älteste Klasse die höchste Frequenz aufwies (Abb.17).

4.2.2.3. Vergleich der einzelnen Altersgruppen hinsichtlich der über 5000m gelaufenen Zeiten.

Bemerkenswert ist, daß hinsichtlich der über 5000m gelaufenen Zeiten sich die Läufer der einzelnen Klassen so verhielten, daß die zweite Klasse (60-65 jährige) die schnellste, die erste Klasse (55-60 jährige) die zweitschnellste und die dritte Klasse (65-70 jährige) die drittschnellste war (Abb.16).

4.2.2.4. Vergleich zwischen den Herzfrequenzen beim 100 Watt-Test und den über 5000 m gelaufenen Zeiten.

Die Pulsfrequenzen beim 100 Watt-Test und die Zeiten des 5000m - Laufes der Alterssportler korrelierten mit $r = + 0,18$ relativ schwach (Abb.15).

Demnach ergab sich zwar bei den einzelnen Alterssportlern nur eine geringe Beziehung zwischen niedriger Herzfrequenz beim 100 Watt-Test und guter Zeit im 5000m - Lauf, aber beim Vergleich der einzelnen Altersgruppen war diese Beziehung eindeutig.

5. Diskussion:

5.1. Die verbesserte Leistungsfähigkeit der Sportlehrer

5.1.1. Die Auswirkungen der Sportlehrerausbildung auf die Leistungssteigerung während der Untersuchungszeit

Aus den Ergebnissen ist ersichtlich, daß bei dem 6 Wochen später vorgenommenen Belastungstest eine bessere Leistungsfähigkeit festgestellt wurde als beim ersten. Die Verbesserung der Leistungsfähigkeit kann verschiedene Ursachen haben.

Die angehenden Fachlehrer waren zum Zeitpunkt der ersten Untersuchung bereits sieben Monate lang in Ausbildung, so daß sie sich in einem guten allgemeinen Trainingszustand befanden. Von den 20 Sportstunden in der Woche entfielen allerdings nur 1 1/2 Stunden auf eine Ausdauerleistung, die sich auf 3/4 Stunden Circuittraining und 3/4 Stunden Fußballspielen verteilten.

Die Leistungsfähigkeit hängt bei gleicher Trainingsintensität logarithmisch von der Dauer des Trainings ab (WILLIAMS).

Das bedeutet, daß in den ersten Wochen eine erhebliche Zunahme der Leistungsfähigkeit erzielt wird, daß aber in den darauf folgenden Wochen und Monaten die Steigerung der Leistungsfähigkeit immer geringer wird. Da die Studenten bereits sieben Monate ihrer Sportlehrerausbildung absolviert hatten, als unsere Untersuchungen angestellt wurden, konnte während der 6 Wochen zwischen den Untersuchungen nur eine geringe Leistungssteigerung durch die Sportlehrerausbildung erfolgt sein.

Die verbesserte Leistungsfähigkeit wurde hauptsächlich durch die neun Belastungen am Fahrradergometer erzeugt.

5.1.2. Die Vorstellungen von HOLLMANN und von ROSKAMM und Mitarb. über die Erzielung eines kardiotropen Trainingseffektes

Nach HOLLMANN und nach ROSKAMM und Mitarb. ergibt sich eine Zunahme der Leistungsfähigkeit mit adaptativer Herzvergrößerung erst, wenn die Trainingsbelastung bei dynamischer Arbeit vier Wochen lang täglich eine halbe Stunde andauert und die Herzfrequenz 150/min. überschritten wird. Bei niedrigeren Trainingsfrequenzen kommt es nur zur vegetativen Umstellung mit Absinken der Herzfrequenz und einem Anstieg der Dauerleistungsgrenze. Diese Bedingungen waren durch die neun Belastungen von durchschnittlich 18 Minuten, von denen höchstens 12 Minuten lang die Herzfrequenz von 150/min. überschritten wurde, keinesfalls gegeben. Auch nach Anrechnung

des Ausdauertrainings während der Sportausbildung werden diese oben genannten Voraussetzungen eines kardiotropen Trainingseffektes nicht erfüllt. Gemäß den Vorstellungen von HOLLMANN und von ROSKAMM und Mitarb. hätte nach den neun Belastungsproben keine Verbesserung der Leistungsfähigkeit auftreten dürfen. Warum aber zeigten dann die spiroergometrischen Befunde dennoch eine größere Leistungsfähigkeit?

5.1.3. Die Ursachen der Leistungsverbesserung bei den Sportfachlehrern:

5.1.3.1. Die verringerte Sauerstoffaufnahme

Die verringerte Sauerstoffaufnahme deutet auf eine Verbesserung des Wirkungsgrades der Muskulatur im Verlauf der Untersuchungen hin. Die Muskelzelle erzeugte bei gleichem Sauerstoffverbrauch eine größere mechanische Energie; sie arbeitete also ökonomischer. Nach HOLLMANN (1959) kann die Sauerstoffausschöpfung des venösen Mischblutes von durchschnittlich 30 Prozent in Ruhe auf 60-70 Prozent bei Belastung ansteigen. Der Grad der Ausschöpfung sei sowohl von der Größe und Zahl der arbeitenden Muskelgruppen als auch vom Trainingszustand abhängig.

Eine vermehrte Kapillarisation und eine Verkürzung der Transitstrecke für Sauerstoff durch eine höhere Mitochondriendichte der Muskelzelle bewirkt die erhöhte Sauerstoffausschöpfung (KEUL, REINDELL). Der geringere Anspruch der Muskelzelle an Sauerstoff infolge des besseren Wirkungsgrades

der Muskulatur und der höheren Sauerstoffausschöpfung hatten bei gleicher Belastung eine geringere Sauerstoffaufnahme zur Folge.

Ein Mehrverbrauch an Sauerstoff durch die Atemmuskulatur während der ersten Belastungsprobe kann dadurch ausgeschlossen werden, daß sich die spirometrischen Werte (Atemfrequenz und Atemäquivalent) im Verlauf der Untersuchungen nicht veränderten. Die Atmung wurde also nicht ökonomischer.

5.1.3.2. Die verminderte Kohlendioxydabgabe:

Die verminderte Kohlendioxydabgabe bei der letzten Untersuchung zeigt eine geringere Inanspruchnahme der Erholungsvorgänge während der Arbeit und der Erholungsprozesse nach der Arbeit an (HAVEL und SKRANC).

5.1.3.3. Der veringerte respiratorische Quotient

Der nichtmetabolische respiratorische Quotient ist ein Indikator der Leistungsfähigkeit, das heißt, je geringer sein Anstieg bei vergleichbarer Belastung, desto größer die Leistungsfähigkeit (HAVEL und SKRANC).

Nicht metabolisch ist der respiratorische Quotient während der Arbeit und Erholung. Sein Anstieg während der Belastung ist von der Bildung und Beseitigung von Säuren (besonders Milchsäure) und deren Reaktion mit den intra- und extrazellulären Bikarbonaten abhängig. Der nichtmetabolische respiratorische Quotient steigt logarithmisch mit der Belastung und linear mit der Milchsäure an (HAVEL und SKRANC).

Eine Verringerung des respiratorischen Quotienten kann also nur entstehen, wenn weniger Milchsäure gebildet wird. Das bedeutet, auf unsere Untersuchungen bezogen, daß bei den Sportfachlehrern im Laufe der neun Untersuchungen durch die verminderte Bildung der Milchsäure die negative Beeinflussung auf die Kontraktionsgeschwindigkeit und Erschlaffungsfähigkeit der Muskulatur geringer wurde.

5.1.3.4. Die Auswirkungen der geringeren Sauerstoffaufnahme und der verminderten Produktion an Milchsäure auf das Herzminutenvolumen:

Die geringere Sauerstoffaufnahme infolge des höheren Wirkungsgrades der Muskulatur und der größeren Sauerstoffausschöpfung und die geringere Anhäufung von Milchsäure während der letzten Belastungsprüfung verursachten eine Verkleinerung des Herzminutenvolumens und damit eine Verminderung der Herzfrequenz. Die Erhöhung des Herzminutenvolumens während der Belastung ist das direkte Ergebnis des größeren Anspruchs an Sauerstoff und der Anhäufung von sauren Produkten (HOLLMANN 1963).

Der verbesserte Trainingszustand der Muskulatur bewirkte also eine Verringerung der Herzfrequenz. Die Abhängigkeit der Herzfrequenz vom lokalen Trainingszustand zeigt auch die Untersuchung von HORNIK.

Er belastete zehn Ruderer und zehn Radfahrer jeweils am Fahrradergometer und am Kurbelergometer. Während die Herz-

frequenzen bei 200 Watt am Kurbelergometer für beide Gruppen mit 148/min. gleich waren, erreichten die Radfahrer am Fahrradergometer bei ebenfalls 200 Watt nur einen Mittelwert der Herzfrequenz von 137/min., die Ruderer einen solchen von 167/min.. Die unterschiedliche Rangfolge der Ruderer und Radfahrer in den beiden Ergometriebelastungen kann nur auf dem verschiedenen lokalen Trainingszustand beruhen. Die Ergebnisse von HORNIAC zeigen deutlich, welche Bedeutung dem lokalen Trainingszustand zukommt und wie leicht dieser eine Vergrößerung der kardiopulmonalen Kapazität vortäuschen kann. Bei der gesamten Reaktion des Organismus auf die Trainingsbelastung kommt auch der Trainingszustand der am meisten belasteten Muskelgruppen zur Geltung (HORNIAC).

5.1.3.5. Beziehung zwischen der Verminderung der Herzfrequenz bei den Sportfachlehrern und einer Vergrößerung der kardiopulmonalen Kapazität

Ob nun bei der letzten Belastungsprüfung schon eine größere kardiale Leistungsfähigkeit für eine Verminderung der Herzfrequenz verantwortlich war, kann hier nicht geklärt werden. Dazu hätte zumindest im letzten Durchgang der maximale Sauerstoffpuls bestimmt werden müssen (maximal war der Sauerstoffpuls nur während der ersten Untersuchung), der nach REINDELL und Mitarb. (1967) eng mit dem Herzvolumen korreliert. Die von HOLLMANN und von ROSKAMM und Mitarb. geforderte Trainingsdauer für eine Vergrößerung der kardiopulmonalen Kapazität

war nicht erfüllt. Hauptsächlich ist also der verbesserte lokale Trainingszustand für die Verringerung der Herzfrequenz verantwortlich. Der verbesserte Trainingszustand, der sich in der größeren Sauerstoffausschöpfung, im höheren Wirkungsgrad der Muskulatur, im besseren Innenmilieu der Muskulatur und in der daraus resultierenden geringeren lokalen und zentralen Ermüdung zeigt, läßt die kardiovaskulären Anforderungen geringer werden.

5.1.3.6. Die Verminderung des Blutdrucks

Die Verminderung des Blutdrucks war bei der letzten Untersuchung gegenüber der ersten zwar deutlich, aber mit Ausnahme des systolischen Blutdrucks der Studenten bei 100 Watt nicht signifikant. Der systolische Blutdruck verminderte sich dabei wesentlich mehr als der diastolische, so daß sich die Blutdruckamplitude ebenfalls verkleinerte.

Der Blutdruck ist abhängig vom Herzminutenvolumen, vom elastischen Gefäßwiderstand, vom Widerstand der Arteriolen und Kapillaren und von der Blutbeschaffenheit. Da der elastische Gefäßwiderstand und die Blutbeschaffenheit bei unseren Untersuchungen als konstant angesehen werden darf, muß die Verkleinerung der Blutdruckamplitude durch die geringere Anforderung an das Herzminutenvolumen verursacht sein.

Der diastolische Blutdruck verringert sich durch die Abnahme des Widerstandes der Arterien und Kapillaren.

5.2. Zusätzliche Untersuchungen:

5.2.1. Die Beziehung des systolischen Blutdrucks der weiblichen und männlichen Studenten bei gleicher Belastung

Es zeigte sich, was ebenfalls ein Ergebnis unserer Untersuchungen ist, daß der systolische Blutdruck von Männern und Frauen bei gleicher Belastung, nicht, wie HOLLMANN behauptet, gleich groß ist, sondern daß die Männer höhere Werte aufweisen.

5.2.2. Die Korrelation von spiroergometrischen Werten untereinander:

Die relativ schwachen Korrelationen der Herzfrequenzen von 100 mit 200 Watt, des Sauerstoffverbrauchs von 100 mit 200 Watt und der Herzfrequenzen von 100 Watt mit dem maximalen Sauerstoffpuls ist in den großen Streuungen bei 100 Watt begründet. Daraus geht hervor, daß eine große Fehlerbreite in Kauf genommen werden muß, wenn vom 100 Watt-Test auf submaximale und maximale Leistungen geschlossen werden soll. Die Abbildung 4a zeigt, daß die Streuung der Herzfrequenz bei 150 Watt gegenüber 100 Watt erheblich geringer wird, so daß der Schluß von 150 Watt auf submaximale und maximale Leistungen mit einer wesentlich geringeren Fehlerbreite einhergehen würde.

5.3. Die Beziehung zwischen spiroergometrischen Werten und sportlicher Ausdauerleistung:

5.3.1. Die unterschiedlichen Beziehungen zwischen ergo-
metrischen Werten und sportlicher Ausdauerleistung
bei den Untersuchungen von FREY und von TABORSKY
und HORAK

In diesem Zusammenhang stellt sich nun die Frage, welchen Aussagewert die spiroergometrischen Untersuchungen am Fahrradergometer für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit in Ausdauersportarten haben.

FREY hat die spiroergometrischen Parameter von Sportlern, die verschiedene Sportarten betrieben, mit dem sogenannten Magglinger Konditionstest (ein im Circuit-Prinzip gestalteter Test) verglichen und überhaupt keine Beziehung erhalten; das heißt, daß der Magglinger Konditionstest in puncto Dauerleistungsfähigkeit einen sehr geringen Aussagewert besitzt. TABORSKY und HORAK haben die spiroergometrischen Werte von Dreikämpfern, die seit Jahren viel Lauftraining absolviert hatten, mit den Ergebnissen eines 600m Hindernislaufes verglichen und dabei sehr hohe Korrelationskoeffizienten erhalten, obwohl die durchschnittliche Laufzeit höchstens 2 1/2 Minuten betrug. Die Aussagekraft des 600m Hindernislaufes in Bezug auf die Dauerleistungsfähigkeit ist also überraschend groß.

Die Gegenüberstellung dieser beiden so unterschiedlichen Beziehungen zwischen dem sportlichen Test und der Spiroergometrie mit unseren Ergebnissen soll zeigen, welche Voraussetzungen für eine hohe Korrelation gegeben sein müssen.

5.3.2. Die Beziehung spiroergometrischer Werte zu sportlicher Ausdauerleistung bei den Sportfachlehrern:

Die Untersuchungen der Sportfachlehrer zeigten, daß zwischen den spiroergometrischen Befunden und dem 1000m - Lauf nur eine leichte Korrelation besteht, obwohl bei einer dreiminütigen Ausdauerbelastung das Verhältnis von aerober zu anaerober Kapazität mit 1 zu 0,9 schon zugunsten der aeroben verschoben ist (HANSEN). Nur der Sauerstoffpuls korrelierte mit den 1000m Zeiten mittelstark.

5.3.2.1. Die Korrelation zwischen den Herzfrequenzen bei 100 Watt und den Zeiten des 1000m - Laufes:

Die Beziehung einer niedrigen Herzfrequenz bei 100 Watt zu einer guten Zeit im 1000m - Lauf war mit $r = +0,2$ schwach. Bemerkenswert ist, daß die über dem Ballungsgebiet befindlichen Punkte (vgl. Abb.12) Fußballern angehören. Der unterhalb des Ballungsgebietes gelegene eingeklammerte Punkt gehört zu einem Ruderer. Im Vergleich zur Herzfrequenz bei 100 Watt waren die Laufzeiten der Fußballer relativ zu schnell, die Zeit des Ruderers zu langsam. Außer den Fußballern und dem Ruderer waren keine Ausdauertrainierten unter den angehenden Fachlehrern. Die relativ schnellere Laufzeit der Fußballer und die relativ langsamere Zeit des Ruderers sind durch den unterschiedlichen lokalen Trainingszustand bedingt. Die für den 1000m - Lauf am meisten beanspruchte Muskulatur war bei den Fußballern sicherlich besser spezifisch trainiert.

Die Korrelation der 1000m Zeiten mit den Herzfrequenzen bei 100 Watt wäre ohne die eingeklammerten Punkte mit $r = + 0,68$ groß.

5.3.2.2. Die Korrelation zwischen den Herzfrequenzen bei 200 Watt und den Zeiten des 1000m - Laufes:

Die Beziehung zwischen den 1000m Zeiten und der Spiroergometrie bei 200 Watt war weitaus geringer als diejenige zwischen 100 Watt und den 1000m Zeiten. Wiederum nur durch die Ausklammerung der Werte der Fußballer und des Ruderers konnte mit $r = + 0,38$ eine mittelstarke Beziehung erhalten werden.

Die Korrelationen waren bei 200 Watt nicht mehr so ausgeprägt, weil bei dieser hohen Belastung auch die Muskelkraft und die Größen- und Hebelverhältnisse der Beine eine entscheidende Rolle spielen. Die Faktoren Kraft und Konstitution nehmen mit steigender Belastung für die Leistung zu. Man findet häufig kleingewachsene, leichtgewichtige schlanke Mittel- und Langstreckenläufer, die auf Grund ihrer Leistung eine hohe kardiopulmonale Leistungsfähigkeit haben müssen, die aber am Fahrradergometer auf Grund ihrer Konstitution und mangels Kraft schon bei einer Belastungsstufe von 200 Watt erhebliche Schwierigkeiten haben oder zum Abbruch gezwungen werden.

5.3.3. Die Bedeutung der Auswahl des Kollektivs für die Eignung der Ergometrie, eine Aussage über die Leistungsfähigkeit in sportlichen Ausdauerdisziplinen zu machen.

Beim Vergleich unserer Untersuchungen mit den Ergebnissen von FREY und von TABORSKY und HORAK zeigt sich, daß die Auswahl des Kollektivs entscheidend ist. FREY konnte keine Beziehung zwischen den spiroergometrischen Befunden und dem Magglinger Konditionstest finden, weil die Auswahl der Sportler willkürlich getroffen wurde. Außerdem die zwischen zwei ^{erlaubte} Übungen gelegte, einminütige Ruhepause den Sportlern, während der Übungszeit größtenteils anaerob zu arbeiten (FREY). TABORSKY und HORAK jedoch hatten mit Ausdauersportlern, die alle im Mittelstreckenlauf trainiert waren, ein einheitliches Kollektiv und erhielten deshalb eine enge positive Korrelation. Bei unseren Untersuchungen wurde mit der Ausklammerung der Fußballer und des Ruderers das Kollektiv wesentlich einheitlicher und deshalb die Beziehung zwischen den spiroergometrisch gewonnenen Werten und den 1000m Zeiten viel größer. Die Ergometrie ist nur dann geeignet, eine Aussage über die Leistungsfähigkeit in sportlichen Ausdauerdisziplinen zu machen, wenn das Kollektiv so gewählt wird, daß es möglichst nur aus Gleichtrainierten besteht.

5.3.4. Die Bedeutung der Belastungsstufe auf dem Ergometer für die Aussagekraft der Spiroergometrie über die Leistungsfähigkeit in sportlichen Ausdauerdisziplinen

Wenn von spiroergometrischen Befunden auf die mögliche Zeit im sportlichen Mittel- und Langstreckenlauf geschlossen werden soll, muß die geeignete Belastungsstufe für den Vergleich herangezogen werden. Es hat sich uns gezeigt, daß die spiroergometrischen Befunde des 100 Watt-Tests offensichtlich ganz gut geeignet sind, um die Leistungsfähigkeit gleichtrainierter Probanden in Langläufen zu beurteilen.

5.3.5. Die Bedeutung des spezifischen Ausdauertrainings für die Leistungsfähigkeit am Fahrradergometer

Der bereits erwähnte, von HORNAK durchgeführte Vergleich der Ruderer und Radfahrer am Kurbelergometer und am Fahrradergometer zeigt deutlich, daß ein spezifisches Ausdauertraining einen großen Einfluß auf die am Prüfstand ermittelte Leistungsfähigkeit hat. Das Spezifische des Trainings ist deshalb von so großer Bedeutung für die Beurteilung, weil die Technik der einzelnen Ausdauersportarten sehr verschiedenartig ist, am Prüfstand aber vor allem die Leistungsfähigkeit am Fahrradergometer mit überwiegender Beanspruchung der Beinmuskulatur getestet wird. Bei unseren Untersuchungen weist die verhältnismäßig hohe Korrelation zwischen den 100m Zeiten und den 1000m Zeiten mit $r = + 0,55$ darauf hin, welche Bedeutung der Lauftechnik, die eine starke Komponente der

Grundschnelligkeit darstellt, zukommt. Auch die Biomechanik des Laufens und des Radfahrens sind, wie folgende vergleichende Gegenüberstellung zeigt, unterschiedlich:

1. Beim Laufen ist die Bewegungsschnelligkeit wesentlich höher als bei der Belastung am Fahrradergometer.
2. Während die Bewegungen beim Laufen ausholend sind und die Extremitäten fast von der einen Extremstellung in die entgegengesetzte gebracht werden müssen, beschreiben die Füße während der Tätigkeit am Fahrradergometer einen vergleichbar kleinen Kreis. Da beim Laufen auch Schultern und Arme mitbewegt werden, ist die aktive Muskelmasse wesentlich größer als beim Radfahren.
3. Das Körpergewicht ruht beim Radfahren fest auf einer Unterlage, beim Laufen dagegen muß es aktiv gehalten werden; der kardiovaskulären Belastung beim Laufen fügt sich also noch die orthostatische hinzu.
4. Der Kraftaufwand in Ausdauersportarten ist sehr verschieden: er ist beim Laufen am geringsten, beim Radfahren und Rudern am höchsten. Beim Laufen braucht kein nennenswerter Widerstand überwunden zu werden, beim Radfahren muß ein körperfremdes Gerät unter hohem Kraftaufwand bewegt werden.

Steigt der Widerstand über eine bestimmte Grenze an, dann wird die Schnelligkeit der Bewegung eingeschränkt. Da der Einsatz der Kraft einen weitaus geringeren positiv chrono-

tropen Effekt des Herzens bewirkt als die Schnelligkeit, ergibt sich die überraschende Tatsache, daß die Sportart mit dem geringsten Kraftbedarf die stärkste Akzeleration des Herzschlags bewirkt (ISRAEL und ISRAEL). Die größere bewegte Muskelmasse, die größere Bewegungsamplitude, die zusätzliche orthostatische Belastung und die höhere Bewegungsschnelligkeit erklären, daß selbst sehr langsames Laufen eine große Anstrengung mit sich bringt, während Radfahren selbst von wenig trainierten Personen über längere Zeit verhältnismäßig mühelos betrieben werden kann. Für submaximale und maximale Leistungen fordert die größere Kraftanstrengung beim Radfahren eine entsprechende Spezialausdauer. Bei mangelnder Ausbildung dieser speziellen Ausdauer tritt die muskuläre Ermüdung ein, die zum Nachlassen oder gar zum Abbruch der Tätigkeit zwingt, noch bevor das kardiovaskuläre System bis an die Grenze seiner Belastbarkeit gelangt ist. (ISRAEL und ISRAEL)

Eine körperliche Leistung wird immer durch den Einsatz mehrerer Faktoren ermöglicht, welche je nach den Anforderungen sehr verschieden akzentuiert sind und dementsprechend in verschiedener Weise als limitierende Funktionen für die Gesamtleistung in Erscheinung treten (KÜNG und Mitarb.).

Das Herzminutenvolumen stellt also bei der Belastung am Fahrradergometer nicht immer den limitierenden Faktor dar.

5.4. Die Untersuchungen der Alterssportler

5.4.1. Die ergometrischen Befunde

5.4.1.1. Der Blutdruck

Die Untersuchungen der Alterssportler am Fahrradergometer beim 100 Watt-Test zeigten, daß der systolische Blutdruck bei Belastung erwartungsgemäß mit dem Alter zunimmt, der diastolische Blutdruck sich mit dem Alter etwas vermindert.

5.4.1.2. Die Herzfrequenz

Überraschenderweise hatten jedoch die 60-65 Jährigen beim 100 Watt-Test eine geringere Herzfrequenz als die 55-60 Jährigen. Nach REINDELL und Mitarb. erfolgt nach einer Abnahme der Leistungsfrequenz mit zunehmendem Alter ein Wiederanstieg der Arbeitsfrequenz ab 60 Jahren. Bei unseren Untersuchungen erfolgte der Wiederanstieg erst ab 70 Jahren.

5.4.2. Die Zeiten des Geländelaufes

Überraschend liefen die 60-65 Jährigen auch bessere Zeiten über 5000 m als die 55-60 Jährigen. Die 65-70 Jährigen fielen hingegen schon deutlich ab.

5.4.3. Die Beziehung zwischen ergometrischen Werten und sportlicher Ausdauerleistung bei den Alterssportlern

Der Vergleich der Herzfrequenzen beim 100 Watt-Test mit den über 5000 m gelaufenen Zeiten ergab bei den einzelnen Altersklassen eine hohe Korrelation (vgl. Abb. 16 und 17).

Sie war dagegen bei den einzelnen Alterssportlern klein. Diese schlechte Übereinstimmung kam wahrscheinlich zustande durch die Unbeholfenheit einiger Altherren auf dem Fahrradergometer, durch die unterschiedliche Leistungswilligkeit beim 5000m - Lauf und die geringe Streuung der Herzfrequenzen beim 100 Watt-Test (auch REINDELL beschreibt eine nur geringe Streuung der Herzfrequenzen beim 100 Watt-Test der Alterssportler, 1961) die eine Rangfolge der Leistungsfähigkeit der einzelnen Altherren nicht sichtbar werden ließ.

Auch wird die mit zunehmendem Alter nachweisbare Verminderung der aeroben Kapazität bei den einzelnen Altherren unterschiedlich sein. Dieser altersabhängige Leistungsabfall war bei der geringen Belastung des 100 Watt-Tests von untergeordneter Bedeutung. Eine weit größere Rolle dürfte er aber beim 5000 m Lauf gespielt haben, so daß der altersabhängige Leistungsabfall ebenfalls eine Ursache für die geringe Korrelation von Herzfrequenz beim 100 Watt-Test und 5000 m Zeit darstellt.

6. Zusammenfassung

Es war die Aufgabe, zu prüfen, ob die ergometrische Leistungsprüfung einen Trainingseffekt darstellt und ob die Ergometrie geeignet ist, einen Aufschluß über den Leistungsstand eines Sportlers in Ausdauerdisziplin zu geben.

Um zu prüfen, wie gut die Trainierbarkeit am Fahrradergometer selbst ist, wurden 26 männliche und 12 weibliche Probanden 9 mal innerhalb von 6 Wochen spiroergometrisch untersucht.

Um die Frage zu beantworten, inwieweit man von den spiroergometrischen Befunden auf die Leistungsfähigkeit in sportlichen Ausdauerübungen schließen kann, wurden die Zeiten eines 1000 m - Laufes zum Vergleich herangezogen. Zudem wurden bei Alterssportlern die Daten eines 100 Watt-Tests mit den Zeiten eines 5000 m Geländelaufes korreliert. Die Ergebnisse sind bemerkenswert:

1. Nach den 9 spiroergometrischen Untersuchungen war die Leistungsfähigkeit der Probanden wesentlich verbessert. Das zeigte sich bei vergleichbarer Belastung an dem geringeren Sauerstoffverbrauch, der verminderten Kohlendioxydabgabe, dem niedrigeren respiratorischen Quotienten, der Abnahme der Herzfrequenz und des Blutdrucks. Der verbesserte lokale Trainingszustand ließ die Anforderungen an das kardiopulmonale System geringer werden. Ob durch die neun ergometrischen Untersuchungen ein

kardiotroper Trainingseffekt erzielt wurde, konnte nicht untersucht werden.

Die von HOLLMANN und von ROSKAMM und Mitarb. geforderte Trainingsdauer für die Vergrößerung der kardiopulmonalen Kapazität war nicht erfüllt.

Die Ergometrie ist eine geeignete Methode zur Feststellung des Trainingszustandes bei Längsschnittuntersuchungen. Wird die Ergometrie in kürzeren Zeitabständen häufig angewandt, so vermag sie selbst zu Fehlinterpretationen Anlaß geben, insofern sie zum Teil eine Besserung der kardiovaskulären Kapazität vortäuscht. Spricht doch vieles dafür, daß in Wirklichkeit auch eine Gewöhnung bestimmter Muskelgruppen an diese besondere Art der Belastung erfolgt war.

2. Die Gegenüberstellung der spiroergometrischen Werte mit den Zeiten der Langläufe erbrachte folgendes Ergebnis: Die Korrelation zwischen den spiroergometrischen Werten und den Zeiten der Langläufe war relativ schwach.

Nur durch die Schaffung eines einheitlichen Kollektivs konnte eine enge Beziehung hergestellt werden.

Verschiedene Ausdauersportarten stellen unterschiedliche Anforderungen an die einzelnen Komponenten körperlicher Fitness. Werden Sportler, die in verschiedenen Ausdauerübungen trainiert sind, vergleichend untersucht, so fin-

det man, daß die auf dem Fahrradergometer gemessene Leistung keine sehr hohe Korrelation mit der erzielten Leistung im sportlichen Wettkampf ergibt. Erst wenn Sporttreibende ähnlicher Konstitution, die ein einheitliches Training durchführen, mit Hilfe der Ergometrie beurteilt werden, wird eine hohe Übereinstimmung zwischen der auf dem Prüfstand erbrachten Leistung und dem rein sportlichen Ergebnis gefunden.

7. Literatur:

1. FREY, P.:

Untersuchungen über den Aussagewert eines
sporttechnischen Konditionstests.

Schweizer.Z.Sportmed. 3 (1967), 81

2. HANSEN, G.:

Vergleichende Untersuchungen über das Verhältnis
der anaeoben zur aeroben Kapazität bei maximaler
ergometrischer Leistung.

Schweizer.Z.Sportmed. 2 (1967), 68

3. HAVEL, V. und SKRANC, O.:

Die Größe und Beziehungen des respiratorischen
Quotienten bei Sportlern und Nichttrainierten
während dosierter Belastung und Erholung.

Medizin und Sport 7, (1969), 201

4. HOLLMANN, W., HERKENRATH, G., GRÜNEWALD, B.,
BUDINGER, H., JONATH, K., RÖSSMANN, H. und HAIN, J.:

Untersuchungen über Möglichkeiten zur Steigerung
des körperlichen Leistungsvermögens von Rekruten.

Sportarzt 17 (1966), 582

5. HOLLMANN, W.:

Der Arbeitseinfluß auf Kreislauf und Atmung.

Darmstadt (Steinkopff) 1959, 50

6. HOLLMANN, W.:
Höchst- und Dauerleistungsfähigkeit des Sportlers.
München (J.A.Barth), 1963, 45
7. HORNIK, E.:
Einfluss des lokalen Trainingszustandes bei der
Arbeitsbelastung.
XVI. Weltkongress für Sportmedizin, 1966,
II. Teil, 187
8. ISRAEL, G. und ISRAEL, S.:
Die Beschleunigung des Herzschlages zu Beginn
intensiver sportlicher Betätigung.
Schweizer.Z.Sportmed. 4 (1966), 331
9. KEUL, J., DOLL, E. und REINDELL, H.:
Stoffwechsel und Leistungsfähigkeit des Muskels.
In: W.Rohmert: Muskularbeit und Muskeltraining.
Stuttgart (Gentner), 1968, 1
10. KÜNG, A., MÜLLER, H. und SCHÖNHOLZER, G.:
Der Aussagewert spiroergometrischer Untersuchungen
im Leistungsfähigkeitsspektrum des Menschen.
Schweizer.Z.Sportmed. 3 (1966), 91
11. REINDELL, H., KÖNIG, K. und ROSKAMM, H.:
Funktionsdiagnostik des gesunden und kranken
Herzens.
Stuttgart (Thieme), 1967, 45

12. ROSKAMM, H., KÖNIG, K., GÜTTEL, W., WEIDEMANN, H.,
THOMAE, R., LOUNE, E., BLÜMCHEN, G., FRIEDRICHSSEN, A.
und REINDELL, H.:

Trainingsversuche auf dem Ergometer bei 80 Rekruten.

Mitteilung I: Die Auswirkungen verschiedener Trainingsmethoden auf das Herzkreislaufsystem.

Sportarzt 17 (1966), 569

13. REINDELL, H., KÖNIG, K., MUSSHOF, K., ROSKAMM, H.
und KESSLER, M.:

Das Herzvolumen und die körperliche Leistungsfähigkeit
bei 20-60 jährigen gesunden Männern.

Arch.Kreisl.-Forsch. 35 (1961), 37

14. TABORSKY, F. und HORAK, J.:

Die Beziehungen der Ergebnisse der spiographischen
und spiroergometrischen Untersuchung zur Leistung
im Laufen bei den Dreikämpfern.

XVI. Weltkongress für Sportmedizin, 1966, II.Teil, 193

15. WILLIAMS, J.G.P.:

Medical Aspects of Sport and Physikal Fitness.

London (Pergamon Press), 1965, 11

8. Legenden zu den Abbildungen:

- Abb. 1: Vergleich der Herzfrequenzen von 26 Studenten und 12 Studentinnen während einer Leistung von 100 Watt, zwischen der ersten und der letzten von neun spiroergometrischen Untersuchungen innerhalb von sechs Wochen. Bei den Studentinnen zeigte sich keine Änderung, während die Herzfrequenz der Studenten während der letzten Untersuchung signifikant geringer war.
- Abb. 2: Vergleich der Herzfrequenz während jeweils höchster Belastung zwischen der ersten und letzten von neun spiroergometrischen Untersuchungen innerhalb von sechs Wochen. Die Herzfrequenz der Studentinnen war bei der letzten Untersuchung deutlich niedriger, aber statistisch nicht signifikant; die Herzfrequenz der Studenten hatte signifikant abgenommen.
- Abb. 3: Vergleich der Herzfrequenz in der Erholungsphase zwischen der ersten und der letzten von neun spiroergometrischen Untersuchungen innerhalb von sechs Wochen. Die Studentinnen verzeichneten wiederum eine deutliche, aber statistisch nicht gesicherte Abnahme; die Studenten eine signifikante Abnahme der Herzfrequenz.
- Abb. 4a: Vergleich der Streuung der Herzfrequenz der Studenten bei 100, 150 und 200 Watt. Die Streubreite nimmt mit zunehmender Belastung ab, besonders auffällig zwischen 100 und 150 Watt.

Abb. 4b: Vergleich der Streuung der Herzfrequenz der Studentinnen bei 100, 125 und 150 Watt. Die Streuung verringerte sich von 100 Watt bis 125 Watt, nahm aber von 125 bis 150 Watt zu, wohl wegen der kleinen Anzahl ($n = 5$) der Probanden, die 150 Watt treten konnten.

Abb. 4c: Korrelation zwischen den Herzfrequenzen bei 100 Watt und den Herzfrequenzen bei 200 Watt.

Die Fehlerbreite ist relativ groß, wenn von der Herzfrequenz bei 100 Watt auf die Herzfrequenz bei 200 Watt geschlossen wird. Einige Probanden haben bei 100 Watt eine Herzfrequenz von 110/min. und bei 200 Watt eine Frequenz von 150/min.. Andere haben bei 100 Watt ebenfalls eine Frequenz von 110/min., aber bei 200 Watt bereits eine Frequenz von 180/min..

Abb.5: Verlauf des Blutdrucks der Studenten und Studentinnen im ersten und letzten von neun Belastungstests innerhalb von sechs Wochen. Die Verminderung des systolischen und diastolischen Blutdrucks war bei allen Untersuchungen während der letzten Belastungsprobe deutlich.

Abb.6: Vergleich des systolischen Blutdrucks der Studenten und der Studentinnen bei 100 Watt.

Der systolische Blutdruck der Studenten war in der ersten und in der letzten von neun Untersuchungen innerhalb von sechs Wochen signifikant höher als bei den Studentinnen.

Abb. 7a: Verlauf des Sauerstoffverbrauchs der Studenten im ersten und letzten von neun Belastungstests innerhalb von sechs Wochen. Der Sauerstoffverbrauch aller Untersuchten war im letzten Durchgang geringer, aber statistisch nicht signifikant.

Abb. 7b: Verlauf des Sauerstoffverbrauchs der Studentinnen im ersten und letzten von neun Belastungstests innerhalb von sechs Wochen. Der Sauerstoffverbrauch aller Untersuchten war im letzten Durchgang geringer, aber nicht signifikant.

Abb. 7c: Korrelation zwischen dem Sauerstoffverbrauch bei 100 Watt und bei 200 Watt. Aus der verhältnismäßig weiten Streuung der Punkte ist zu ersehen, daß eine unerwartet große Fehlerbreite in Kauf genommen werden muß, wenn von der Sauerstoffaufnahme bei 100 Watt auf den Sauerstoffverbrauch bei 200 Watt geschlossen werden soll.

Abb. 7d: Korrelation zwischen der Herzfrequenz bei 100 Watt und dem maximalen Sauerstoffpuls. Die einzelnen Punkte sind sehr weit gestreut, die Beziehung ist nur schwach.

Abb. 8a: Verlauf des Sauerstoffpulses von 26 Studenten im ersten und letzten von neun Belastungstests innerhalb von sechs Wochen. Der Sauerstoffpuls änderte sich nur unwesentlich.

Abb. 8b: Verlauf des Sauerstoffpulses von 12 Studentinnen im ersten und letzten von neun Belastungstests innerhalb von sechs Wochen. Der Sauerstoffpuls änderte sich nur unwesentlich.

Abb. 9a: Die Kohlendioxydabgabe der Studenten im ersten und letzten von neun Belastungstests innerhalb von sechs Wochen.

Die Kohlendioxydabgabe war während der letzten Untersuchung geringer, aber statistisch nur bei 100 Watt signifikant.

Abb. 9b: Die Kohlendioxydabgabe der Studentinnen im ersten und letzten von neun Belastungstests innerhalb von sechs Wochen.

Die Kohlendioxydabgabe der Studentinnen war während der letzten Untersuchung signifikant geringer auf allen Belastungsstufen.

Abb. 10a: Der respiratorische Quotient der Studenten in der ersten und letzten von neun Untersuchungen innerhalb von sechs Wochen. Der respiratorische Quotient wurde im letzten Belastungstest signifikant kleiner auf allen Belastungsstufen.

Abb. 10b: Der respiratorische Quotient der Studentinnen in der ersten und letzten von neun Untersuchungen innerhalb von sechs Wochen. Der respiratorische Quotient wurde während der letzten Untersuchung erst bei 125 und bei 150 Watt signifikant geringer. Bei 100 Watt wurde sogar eine geringe Vergrößerung festgestellt.

Abb. 11: Korrelation zwischen den Zeiten des 1000 m - Laufes und den Zeiten eines 100 m - Laufes von 20 Studenten. Die Streuung der Punkte ist verhältnismäßig gering und die Beziehung überraschend groß. (Von den insgesamt 26 Studenten waren zum Zeitpunkt des 1000 m - Laufes sechs erkrankt oder verletzt.)

Abb. 12: Korrelation zwischen der Herzfrequenz bei 100 Watt und den über 1000 m gelaufenen Zeiten bei 20 Studenten. Die Streuung der Einzelwerte ist ziemlich groß und der Korrelationsquotient mit $r = + 0,2$ klein. Durch die Ausklammerung der 4 oberen Punkte (Werte von Fußballspielern) und des untersten Punktes (Wert eines Ruderers) wurde der Korrelationsquotient mit $r = + 0,68$ groß.

Abb. 13: Korrelation zwischen dem Sauerstoffpuls während einer Belastung von 100 Watt und den über 1000 m gelaufenen Zeiten bei 20 Studenten. Ohne den ausgeklammerten Punkt (er gehört zu einem Fußballer) ist die Gruppierung der Einzelwerte um eine Gerade verhältnismäßig eng, und deshalb der Korrelationsquotient groß.

Abb. 14a: Korrelation zwischen den Herzfrequenzen bei 200 Watt und den über 1000 m gelaufenen Zeiten bei 18 Studenten. (18 Studenten hielten 200 Watt durch) Auch nach der Ausklammerung der vier Punkte, die wiederum zu Fußballern gehören, ist die Streuung groß und deshalb die Beziehung nur locker.

Abb.14b: Korrelation zwischen dem Sauerstoffpuks bei 200 Watt und den über 1000 m gelaufenen Zeiten bei 18 Studenten. Auch ohne den ausgeklammerten Punkt ist die Beziehung nur gering.

Abb.15: Korrelation zwischen den Herzfrequenzen beim 100 Watt-Test und den über 5000 m gelaufenen Zeiten bei 16 alten Langstreckenläufern. Die Verteilung der Punkte ist unregelmäßig und deshalb die Beziehung schwach.

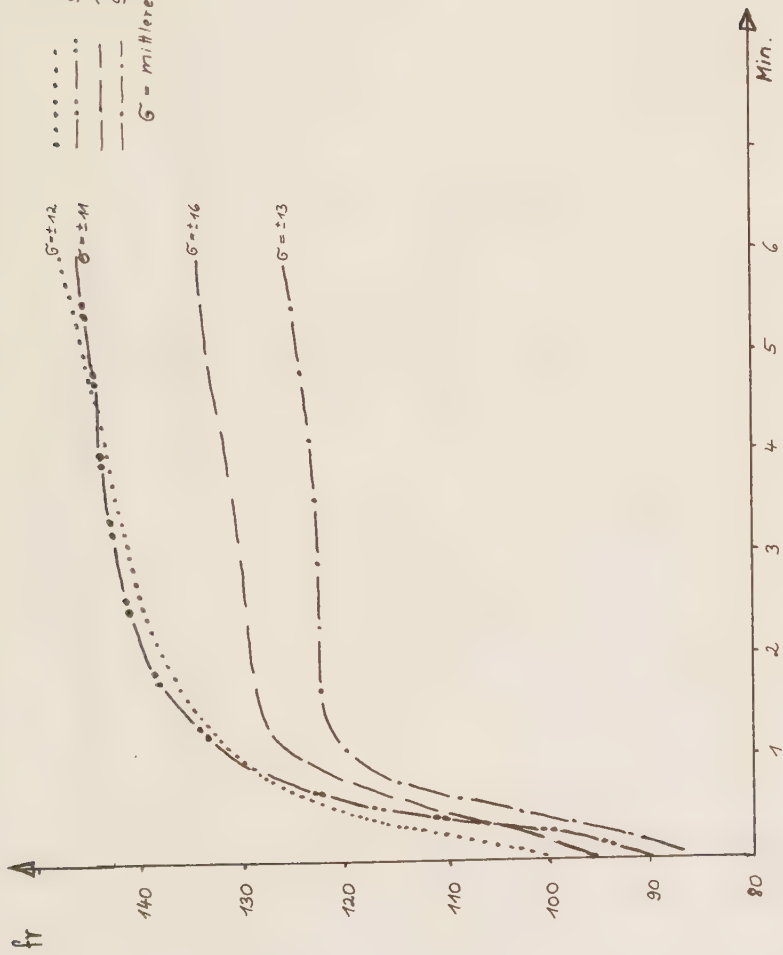
Abb.16: Vergleich der 5000 m Zeiten der einzelnen Altersgruppen bei 90 alten Langstreckenläufern.
Es wurden jeweils die Mittelwerte der besten 10 Läufer, dann die Mittelwerte der 11. - 20. und die Mittelwerte der 21. - 30. der drei Altersklassen gegenüber gestellt. Überraschenderweise liefen die 60-65 Jährigen schneller als die 55-60 Jährigen.

Abb.17: Vergleich der Herzfrequenzen der drei Altersklassen von 29 alten Langstreckenläufern beim 100 Watt-Test. Wiederum überraschten, daß die 60-65 Jährigen die geringsten Herzfrequenzen vor, während und nach der Belastung hatten.

Abb.18: Vergleich des Blutdrucks der drei Altersklassen von 62 alten Langstreckenläufern beim 100 Watt-Test. Der systolische Blutdruck stieg mit dem Alter, der diastolische wurde mit dem Alter geringer.

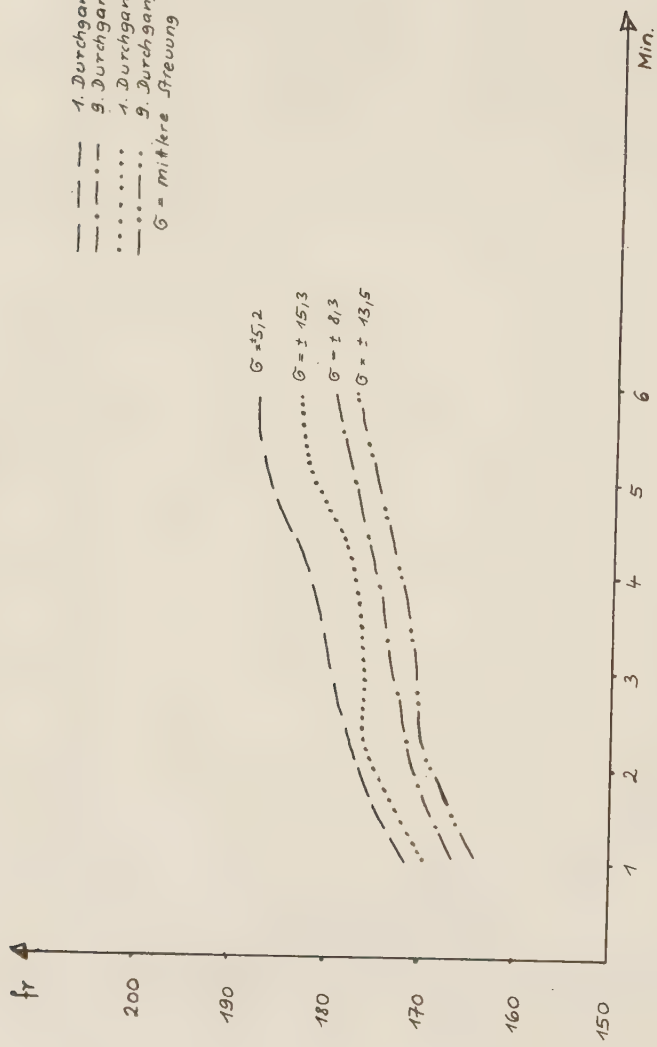
Die unterschiedliche Anzahl der Alterssportler, die zu den einzelnen Vergleichen herangezogen wurde, ist folgendermaßen zu erklären:

1. Einige Altherren, die ergometrisch untersucht wurden, gaben beim Langlauf auf.
2. Eine Anzahl der Teilnehmer beim Altherrenlauf nahm nicht an der ergometrischen Untersuchung teil.
3. Wegen eines technischen Fehlers konnten nicht alle Elektrokardiogramme ausgewertet werden.



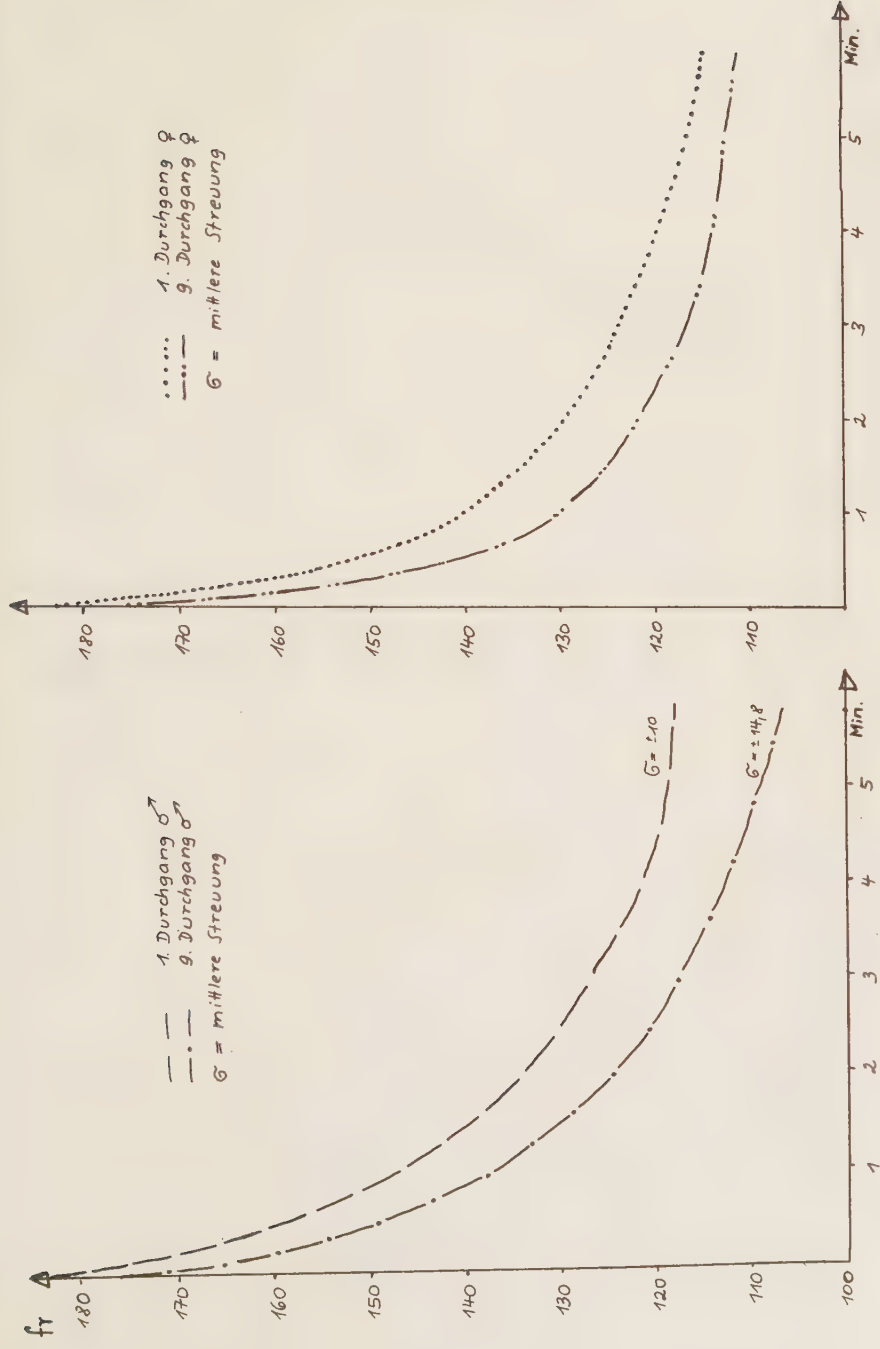
Herzfrequenzen bei 100 Watt

Abb. 1

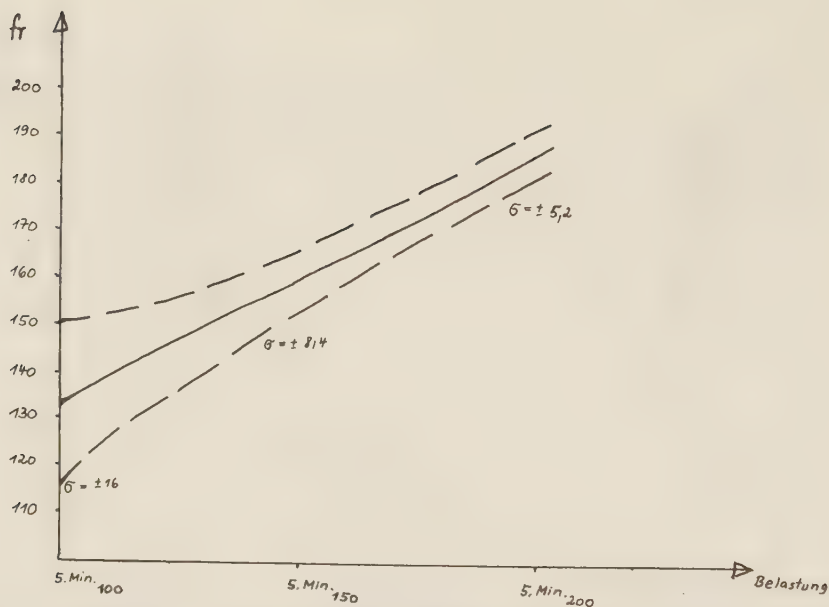


Herzfrequenzen bei höchster Belastung

Abb. 2

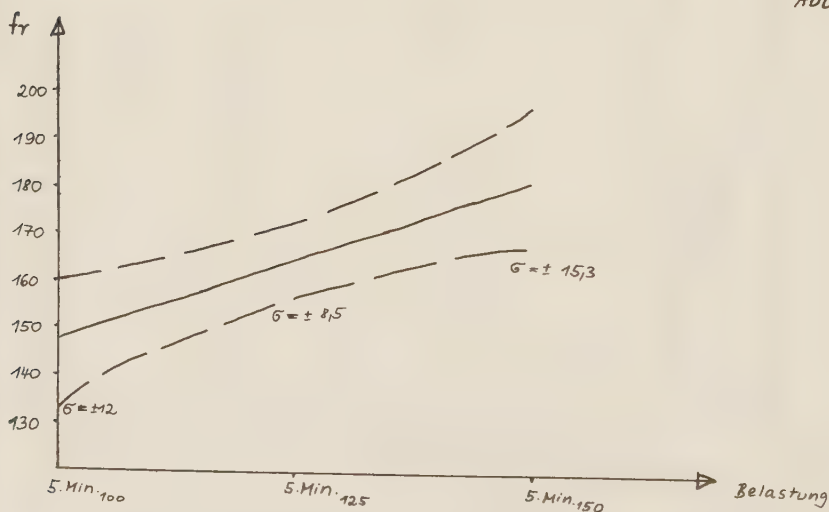


Herzfrequenzen während der Erholung



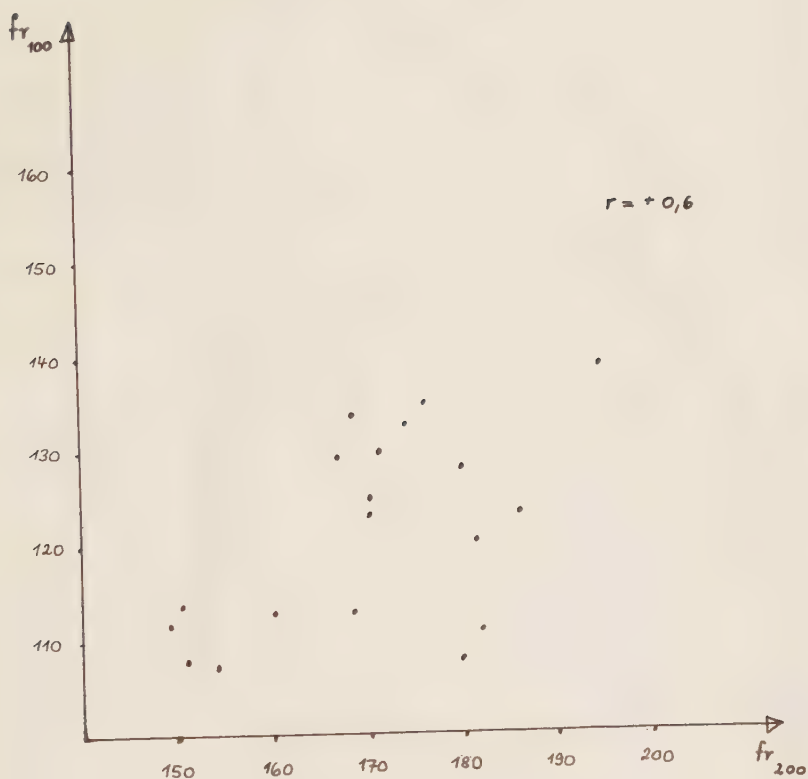
absolute Streuung der Herzfrequenz der Studenten

Abb. 4a



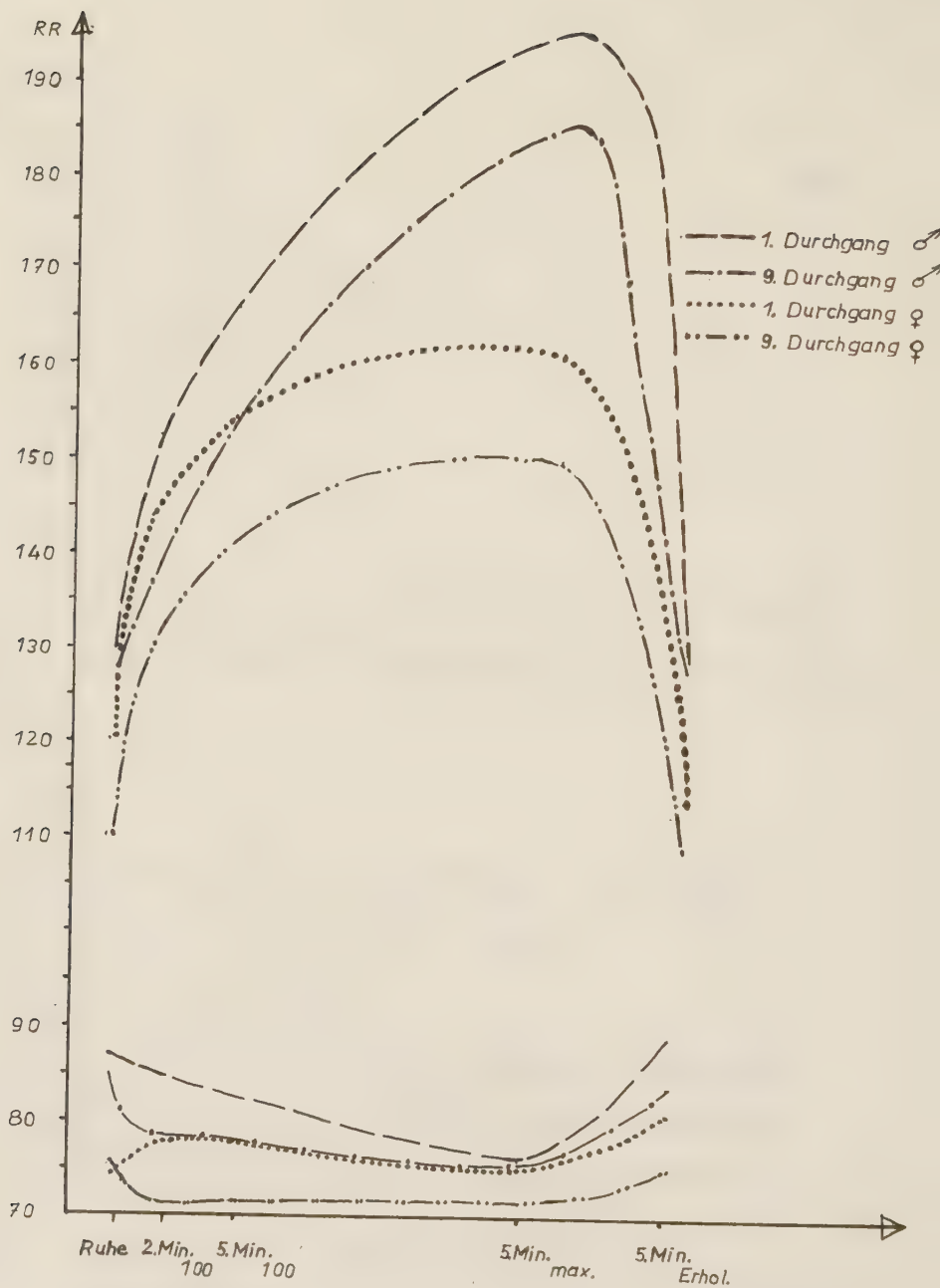
absolute Streuung der Herzfrequenz der Studentinnen

Abb. 4b



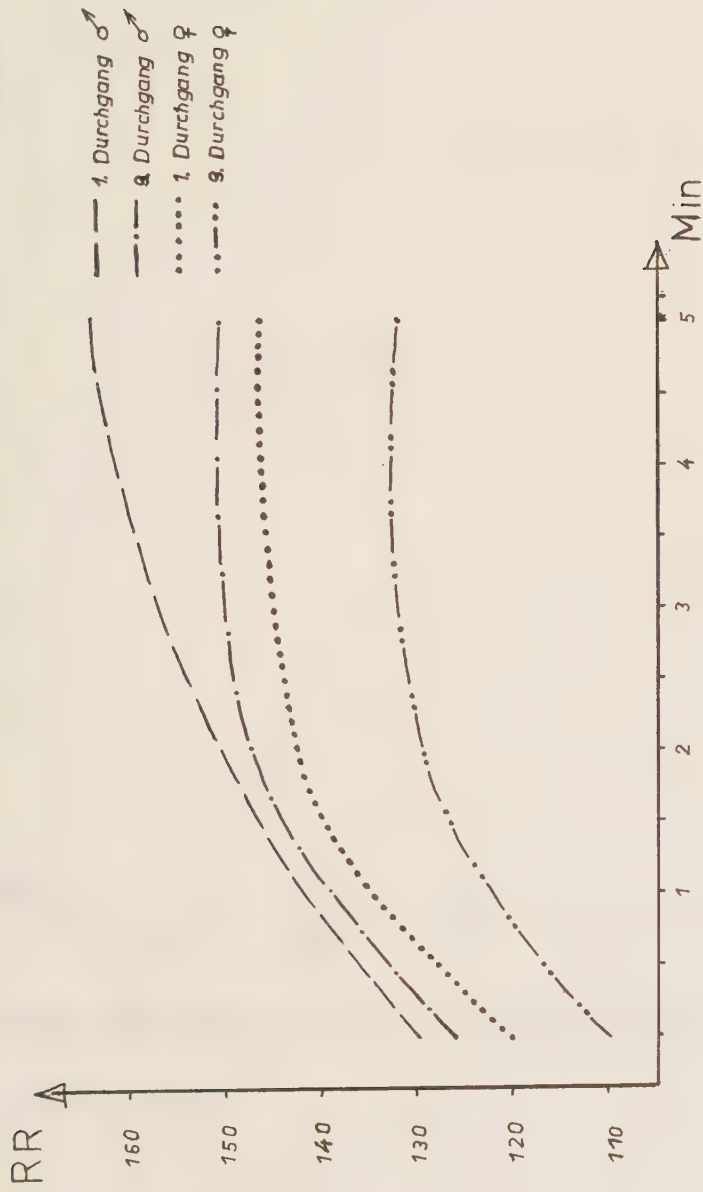
Korrelation zwischen den Herzfrequenzen
bei 100 Watt und 200 Watt

Abb. 4c

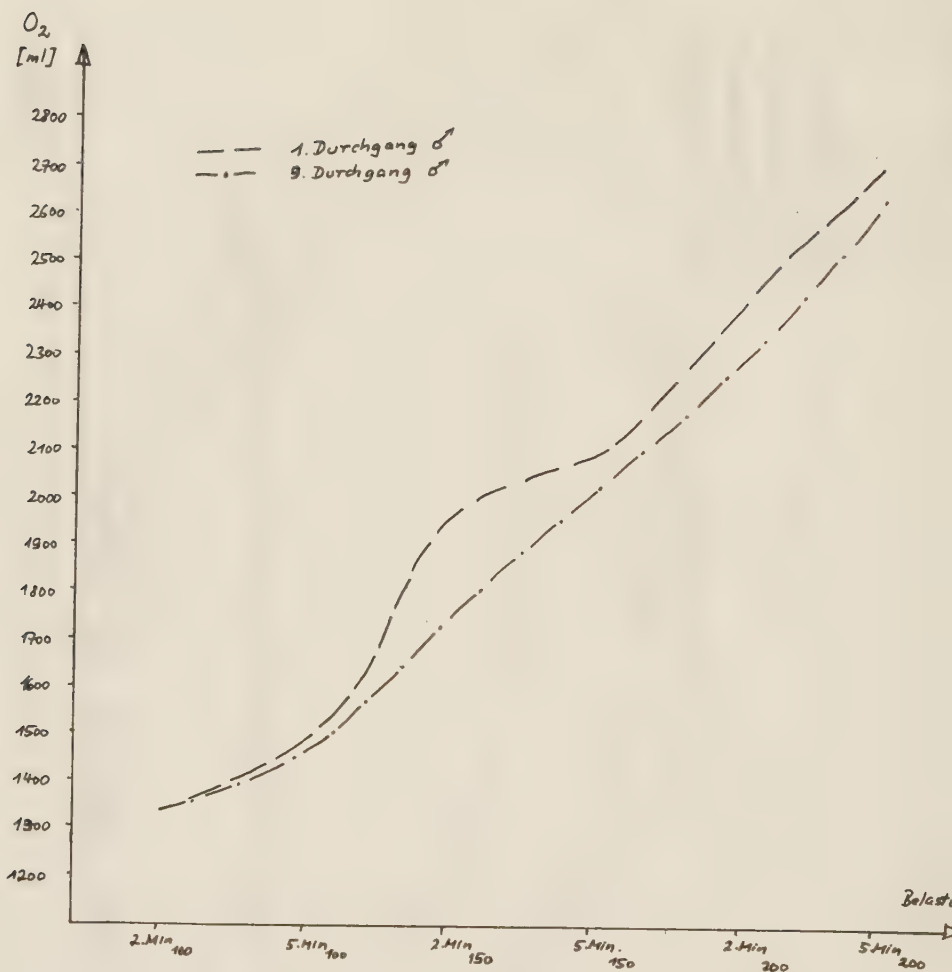


Verlauf des Blutdruckes

Abb. 5

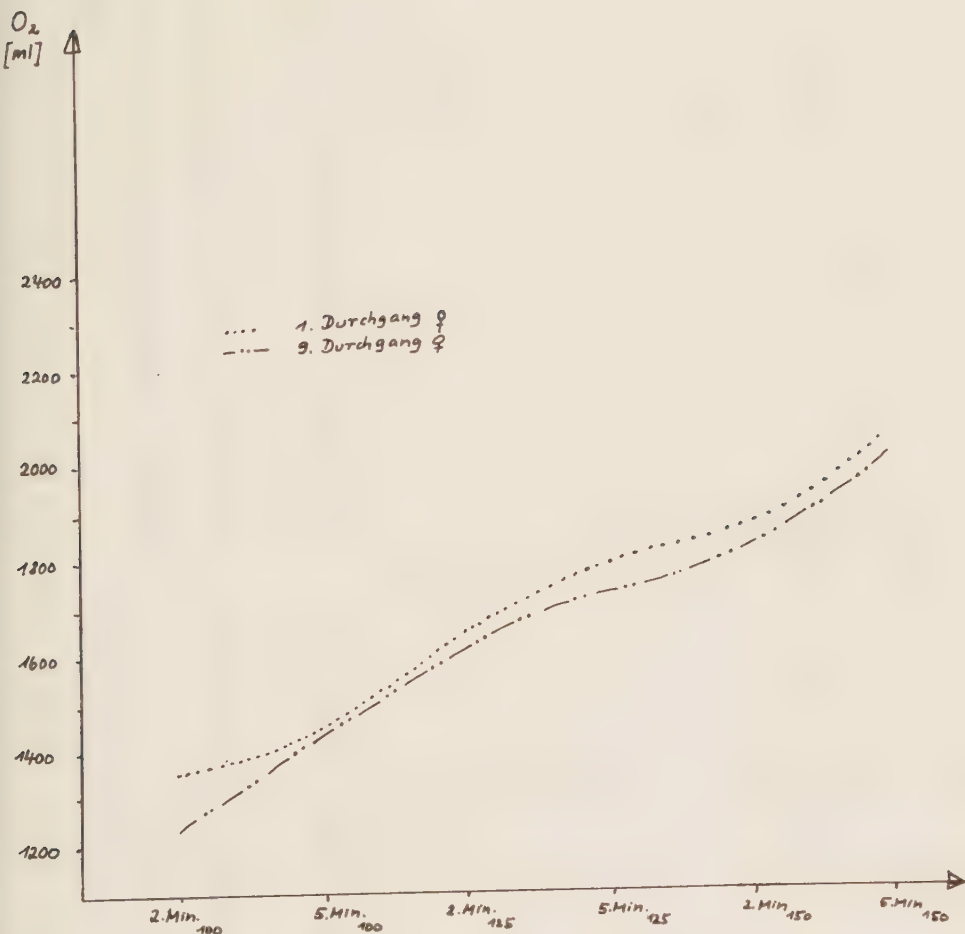


Systolischer Blutdruck bei 100 Watt



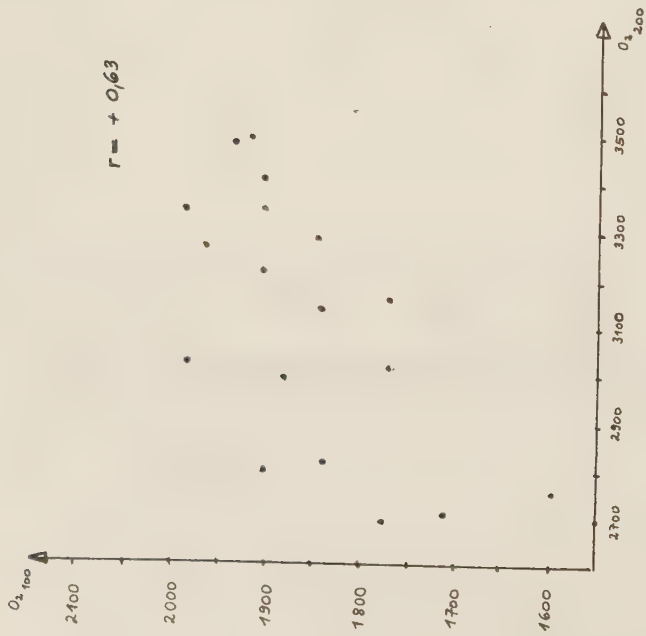
O_2 - Verbrauch bei 100, 150 und 200 Watt der ♂

Abb. 7a



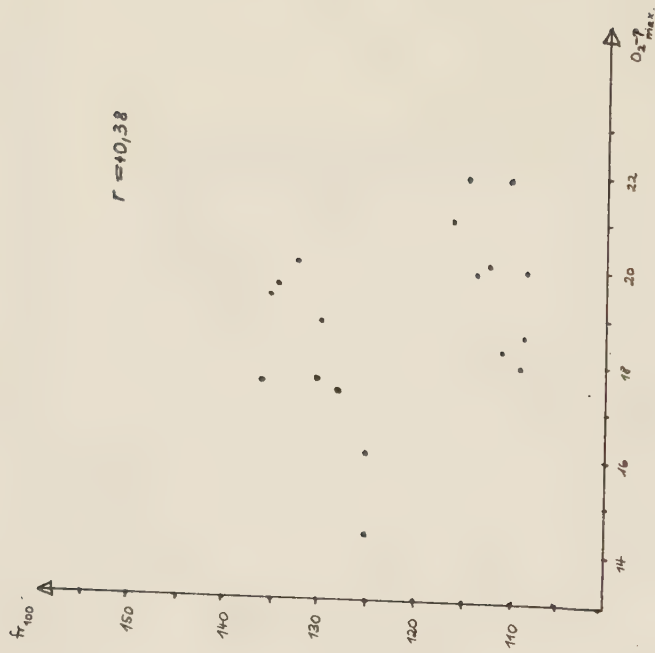
O_2 - Verbrauch bei 100, 125 und 150 Watt der ♀

Abb. 7b



Korrelation zwischen O_2 -Verbrauch bei 100 und 200 Watt

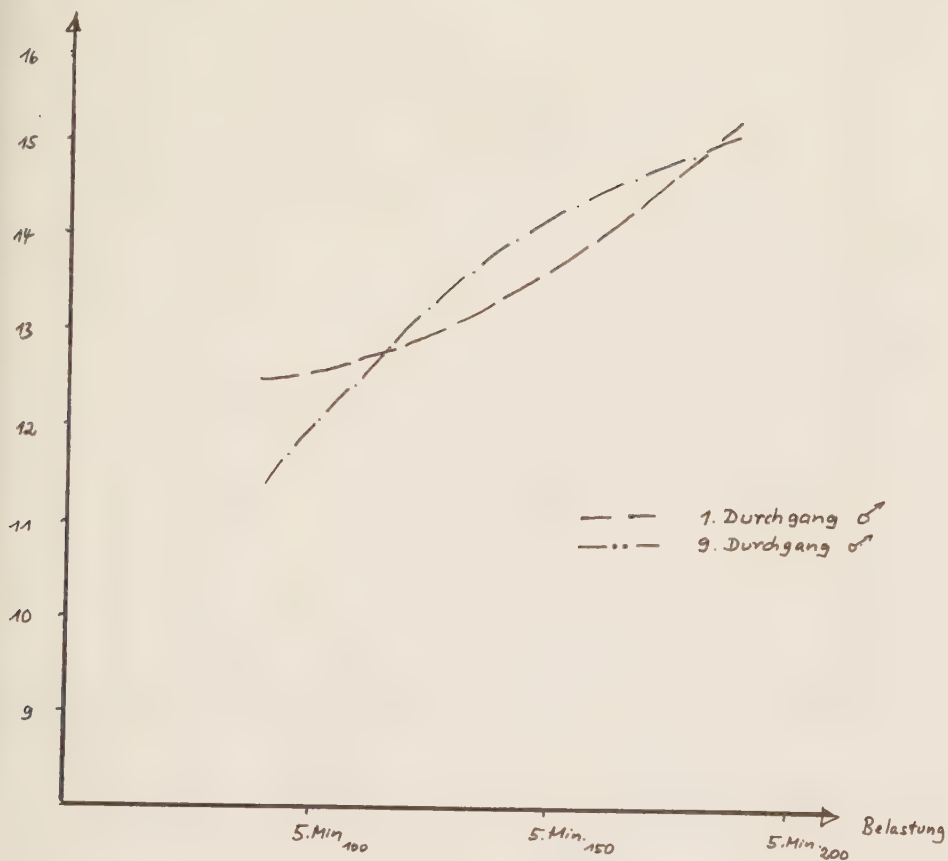
Abb. 7c



Korrelation zwischen Herzfrequenz bei 100 Watt und maximalem O_2 -Puls

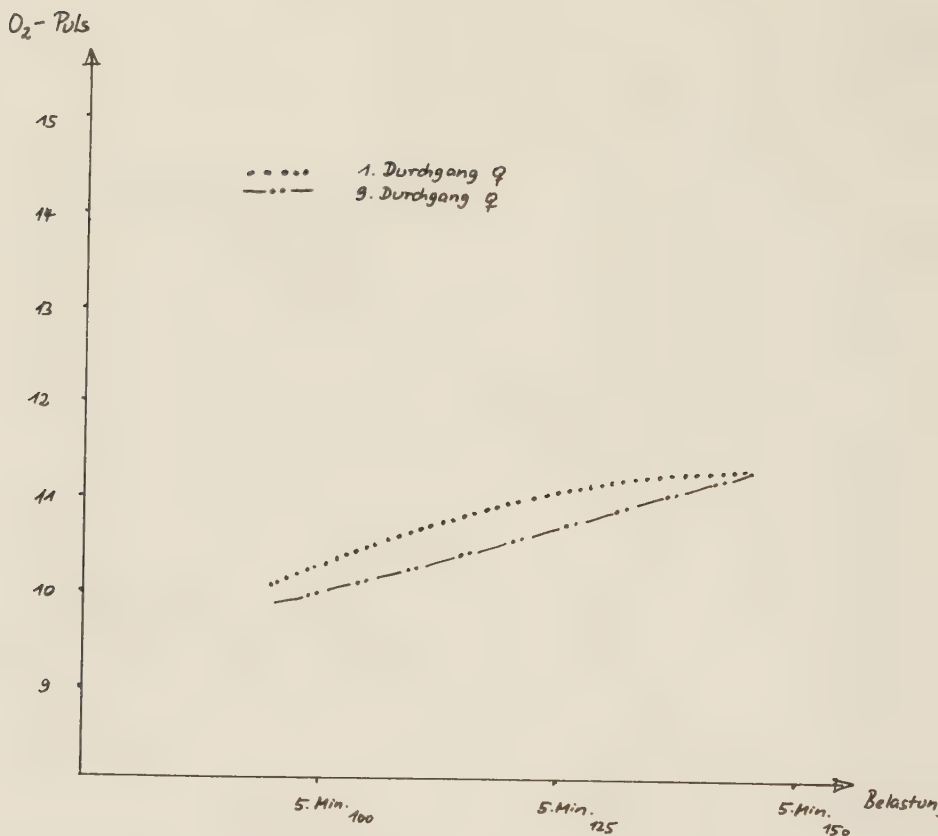
Abb. 7d

O₂-Puls



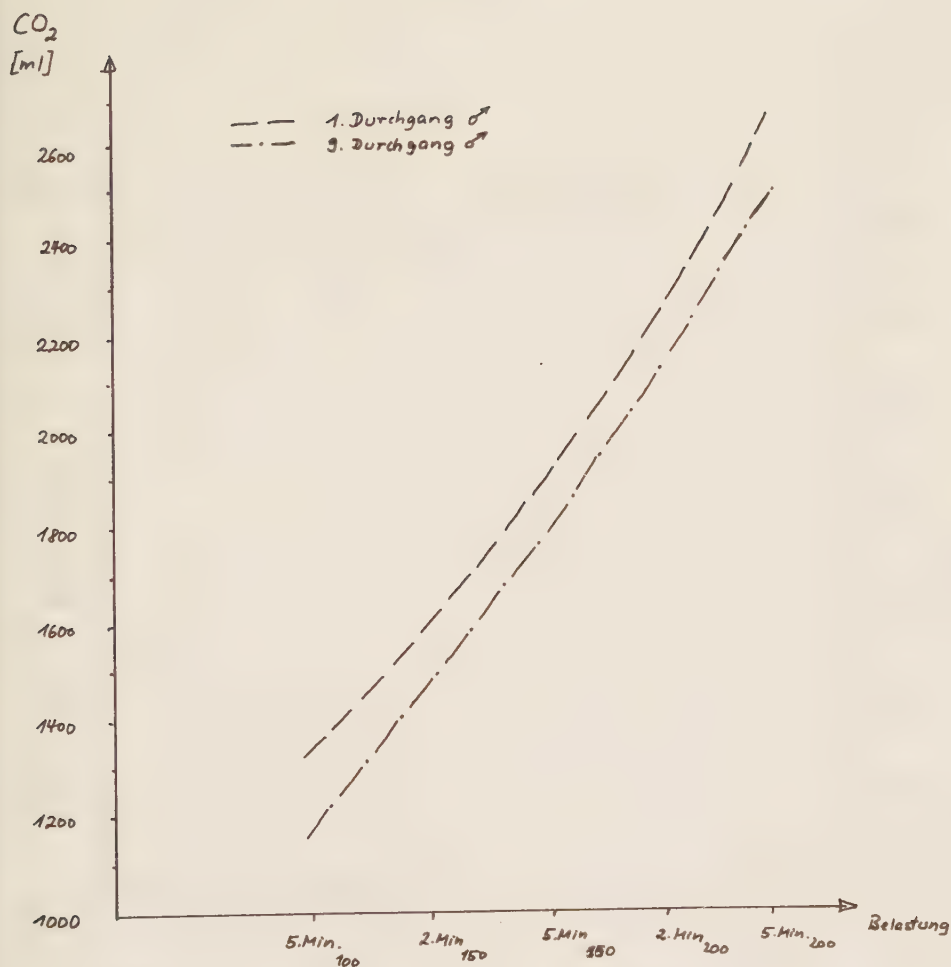
O₂-Puls bei 100, 150 und 200 Watt für ♂

Abb. 8a



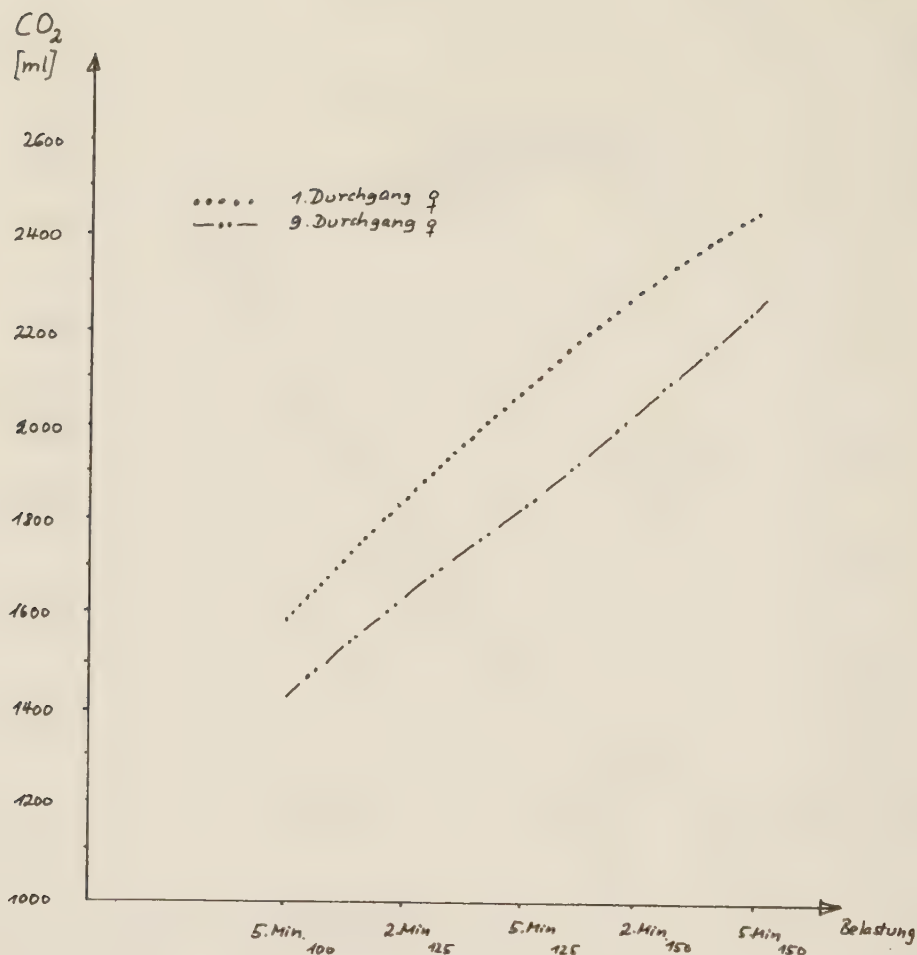
O_2 -Puls bei 100, 125 und 150 Watt für ♀

Abb. 8b



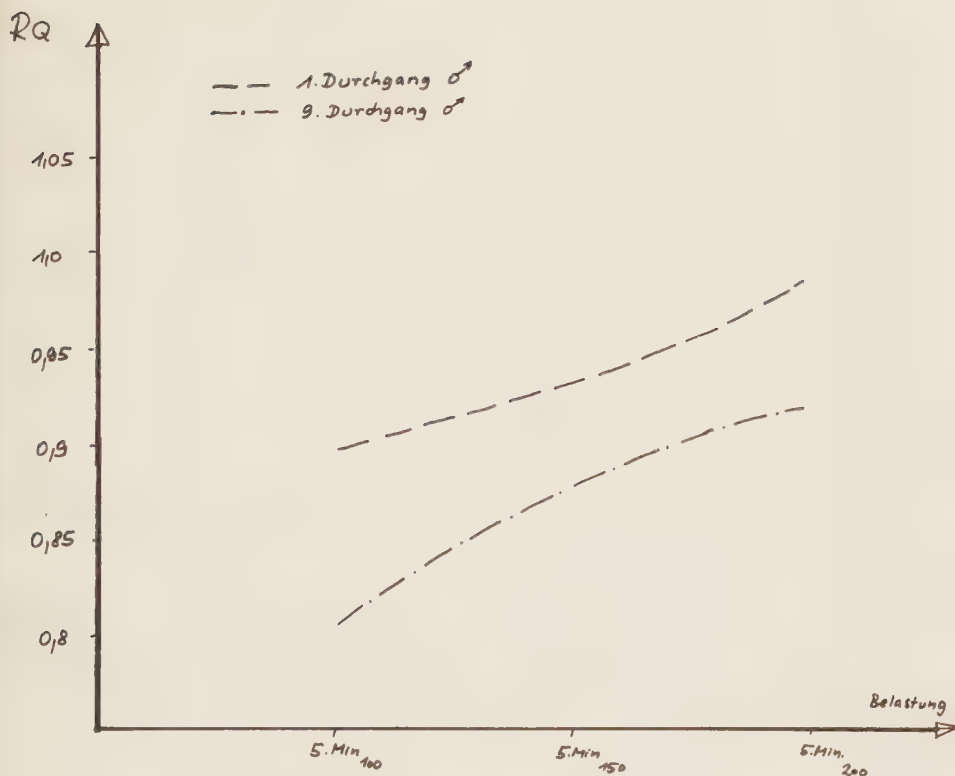
CO_2 - Abgabe bei 100, 150 und 200 Watt für ♂

Abb. 9a



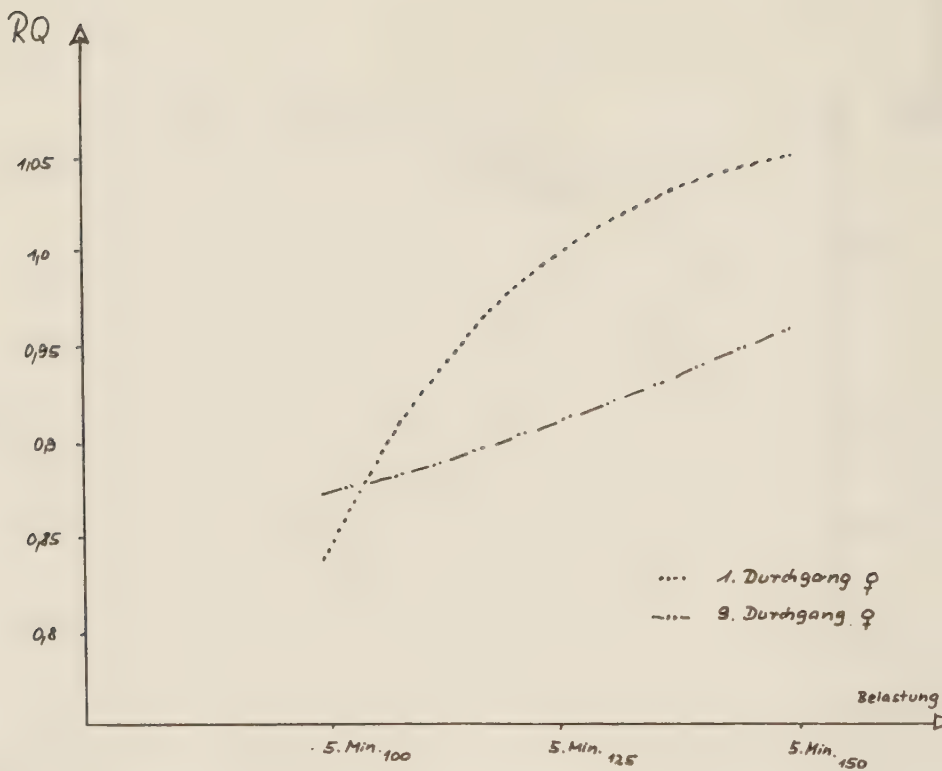
CO₂ - Abgabe bei 100, 150 und 200 Watt für ♀

Abb. 9b



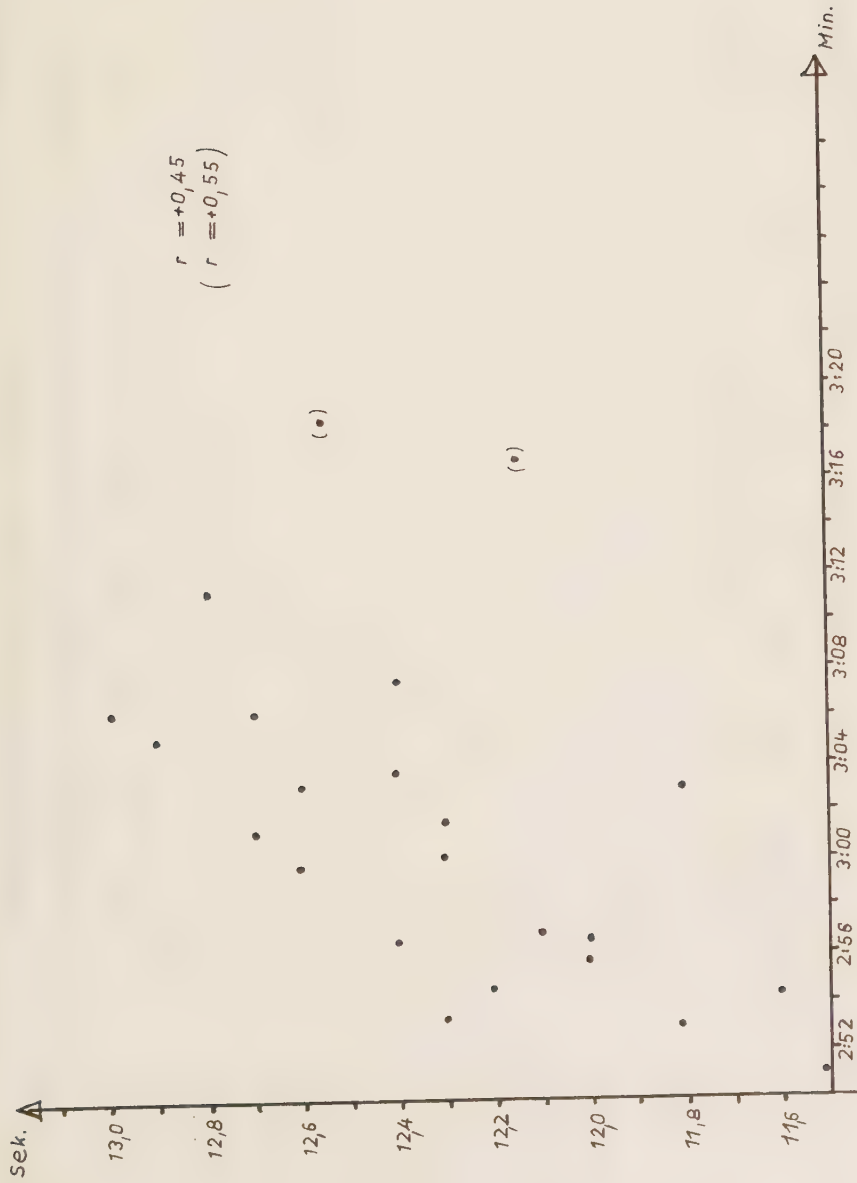
RQ bei 100 , 150 und 200 Watt für ♂

Abb. 10a

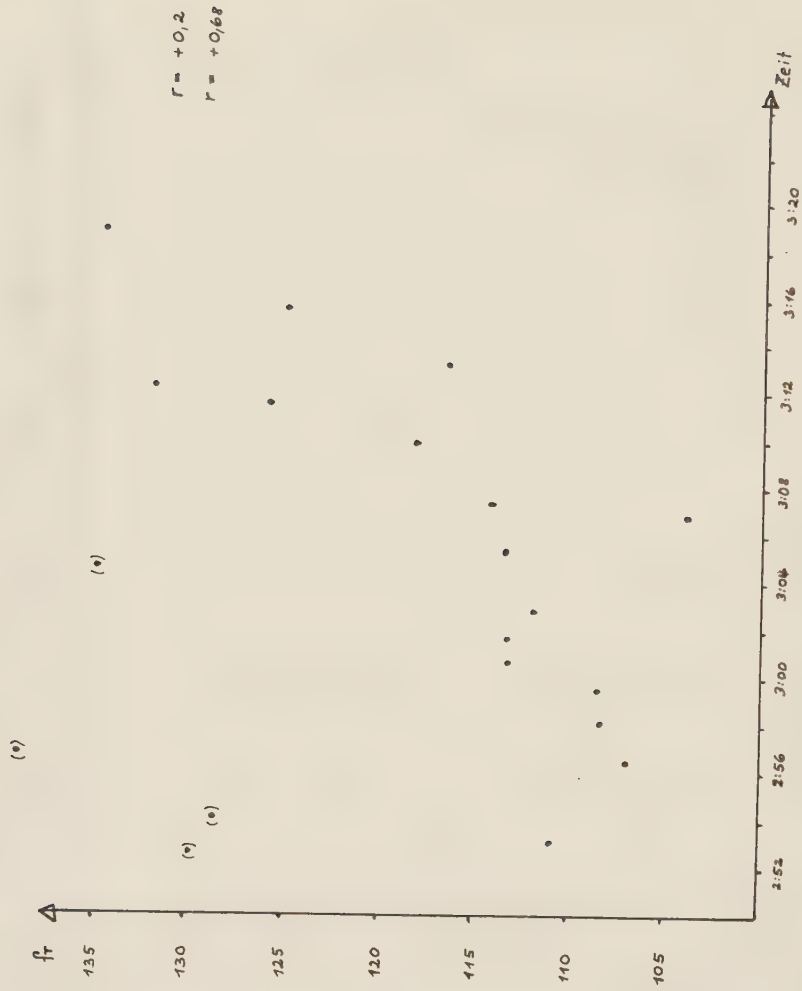


RQ bei 100, 125 und 150 Watt für φ

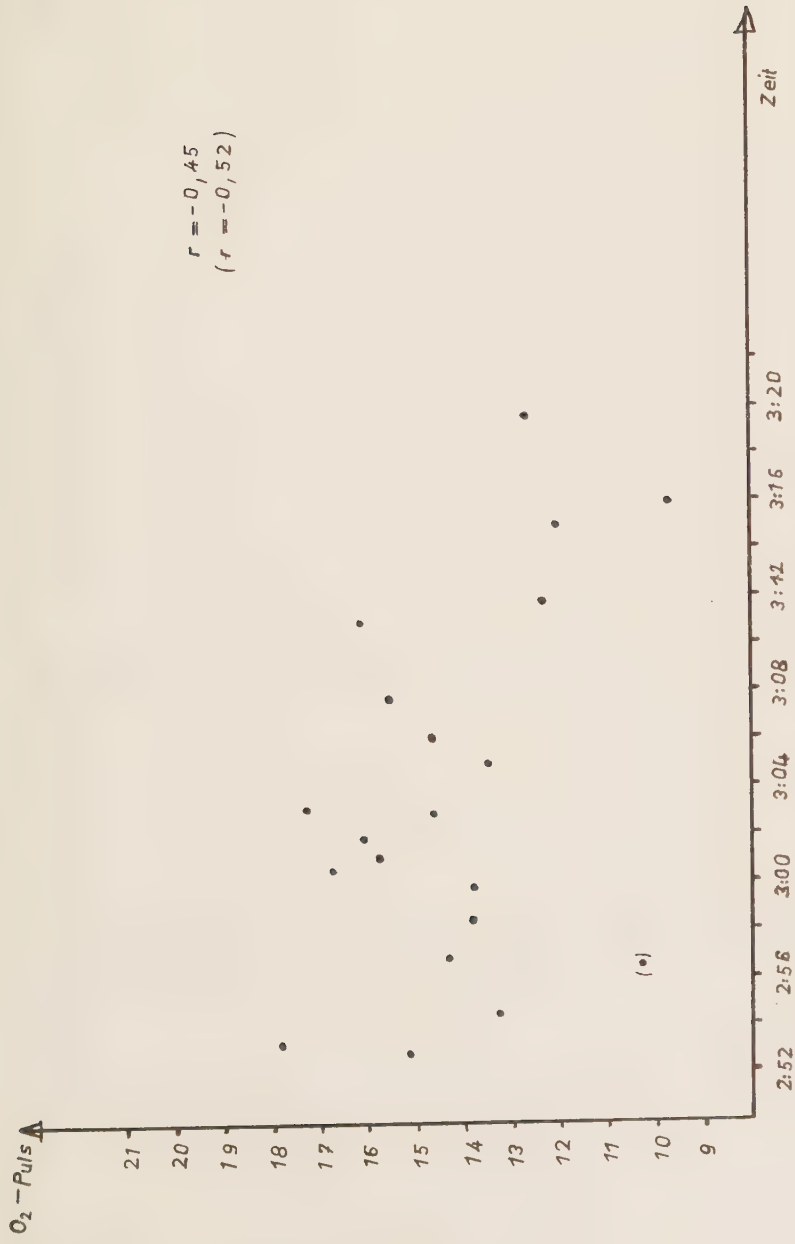
Abb. 10b



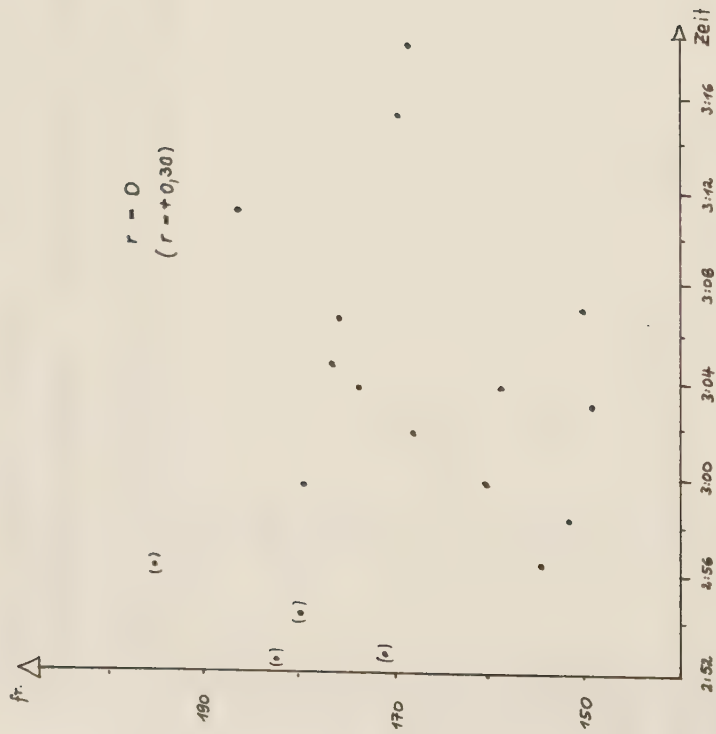
Korrelation zwischen den Zeiten des 1 000 m Laufes
und den Zeiten des 100 m Laufes



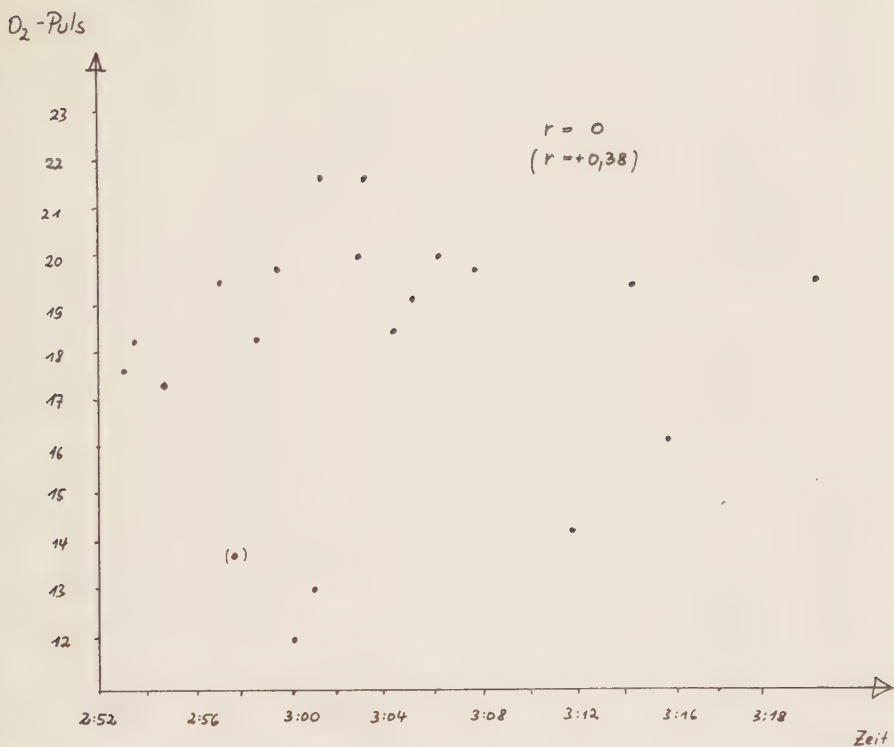
Korrelation zwischen den Herzfrequenzen bei 100 Watt
und den Zeiten des 1000 m Laufes



Korrelation zwischen O_2 - Puls bei 100 Watt und den Zeiten
beim 1000m Lauf

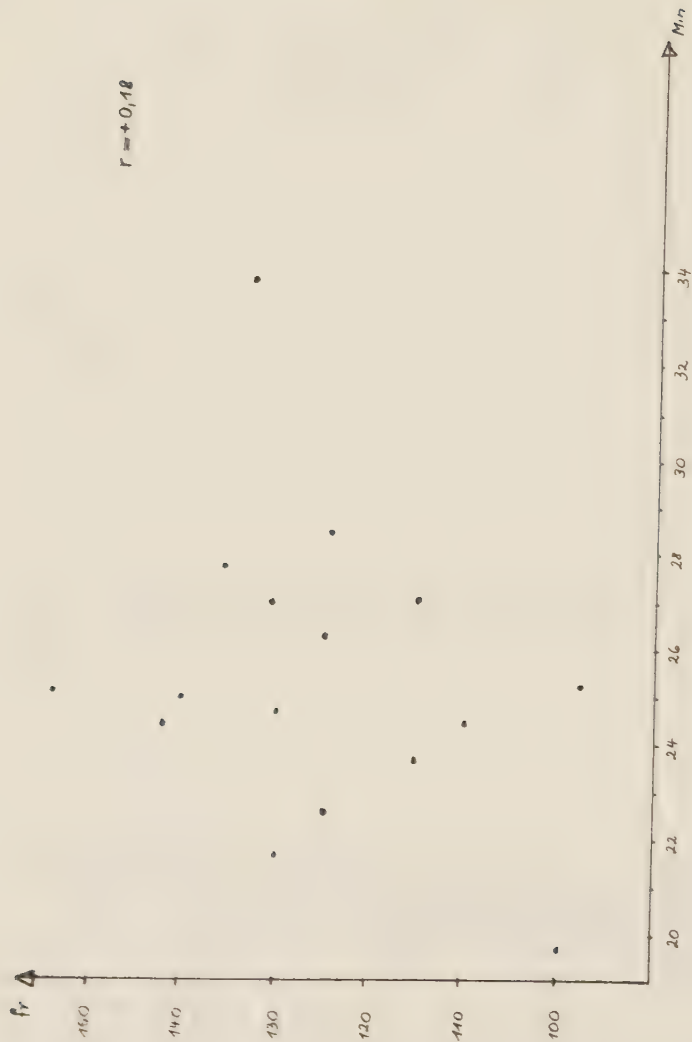


Korrelation zwischen den Herzfrequenzen bei 200 Watt und den Zeiten des 1000 m Laufes

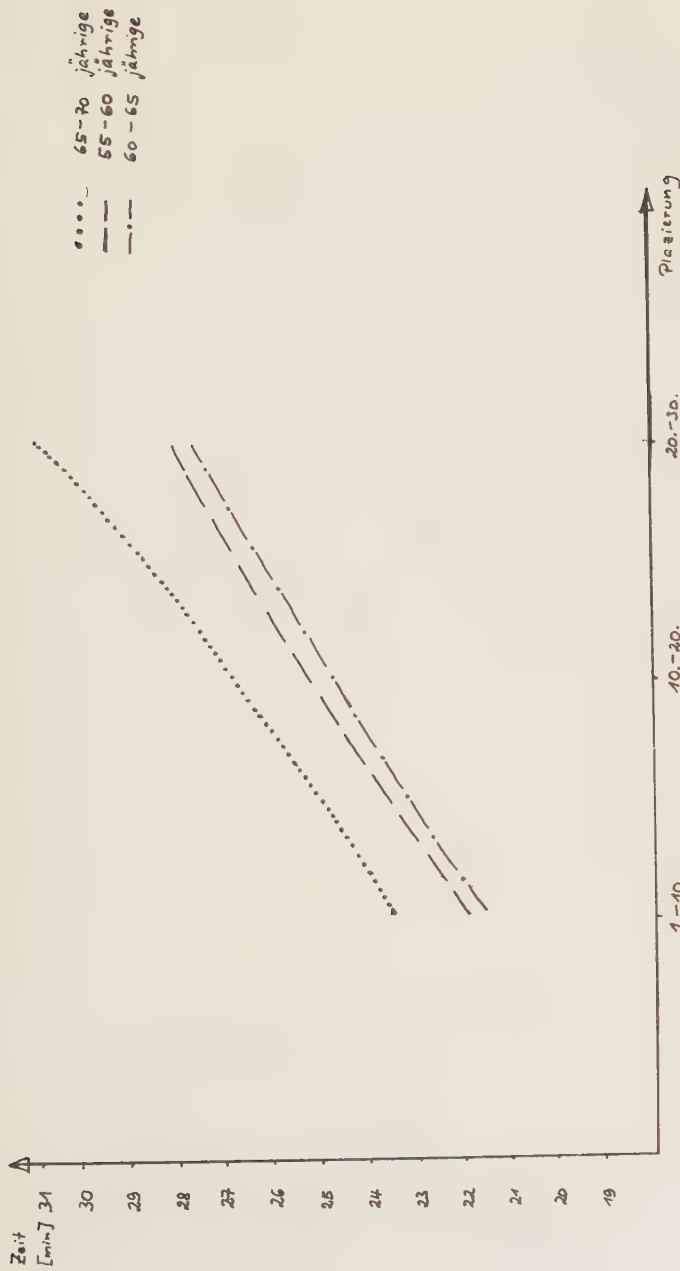


Korrelation zwischen O_2 -Puls bei 200 Watt
und den Zeiten des 1000 m Laufes

Abb. 14b

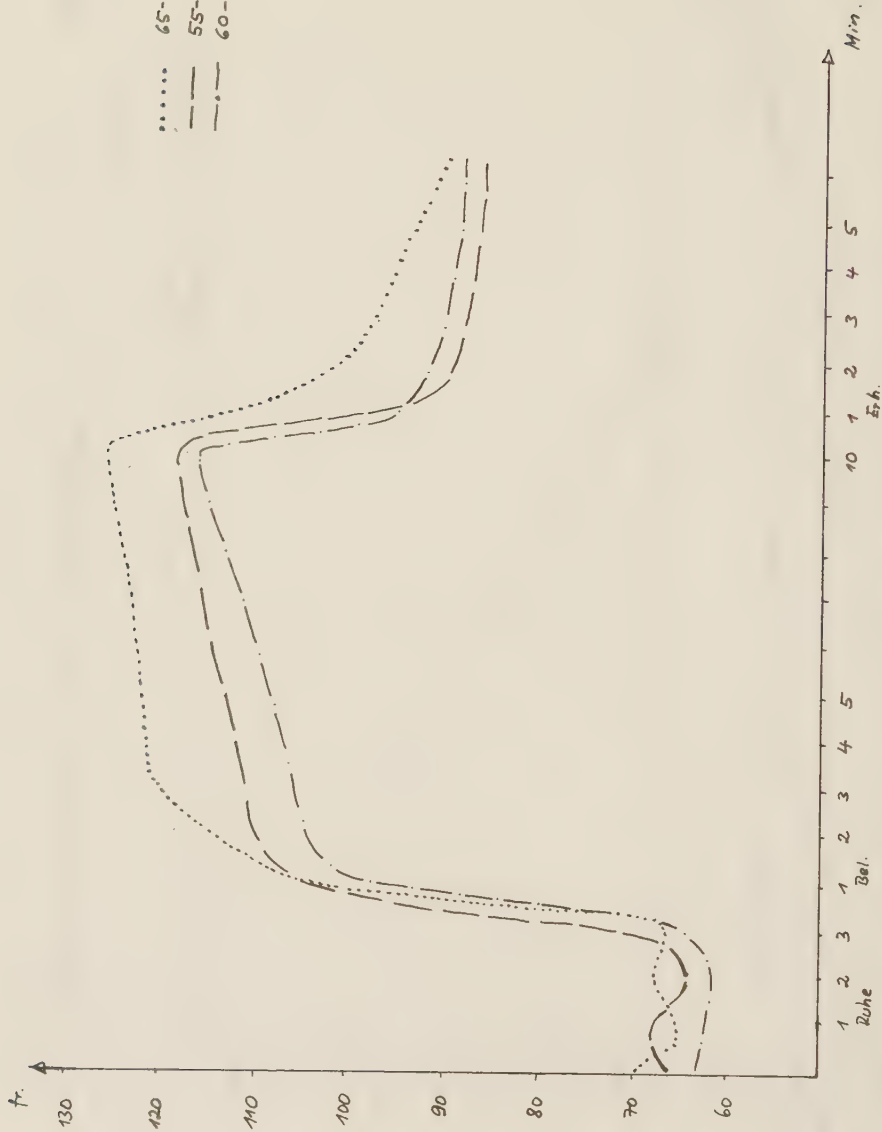


Korrelation zwischen den Herzfrequenzen beim 100 Watt - Test
und den Zeiten des 5000 m Laufes der Altherren

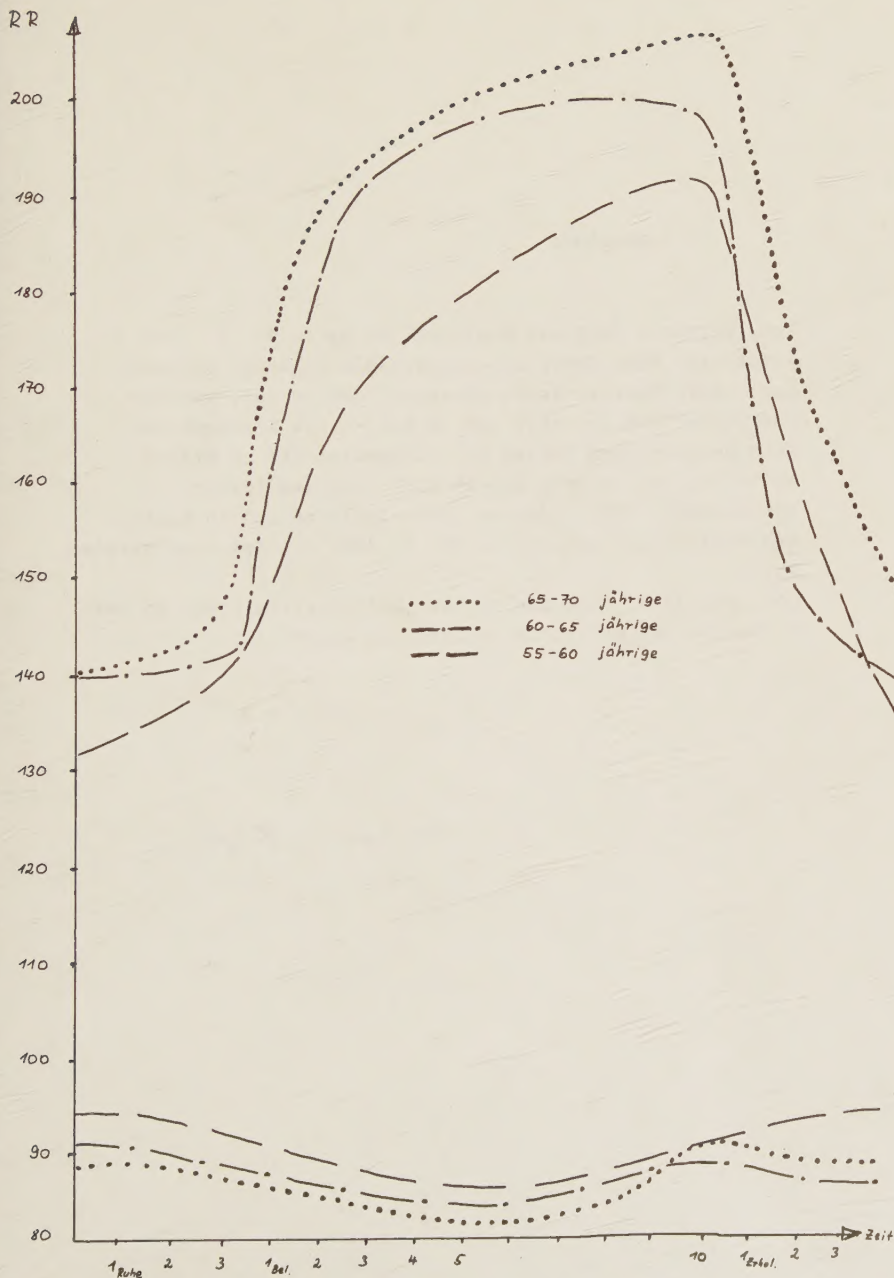


5000 m Zeiten der Altherren

Abb. 16



Herzfrequenzen der Altherren beim 100 Watt-Test



Blutdruck der Altherren beim 100 Watt-Test

Lebenslauf

Ich, Bernhard Johannes Schiessl, wurde am 15. 3. 1946 in Weiden als Sohn des Tiefbauingenieurs Johannes Schiessl und seiner Ehefrau Maria Schiessl, geb. Weiss, geboren. Von 1952- 1956 besuchte ich in Weiden die Volksschule. Nach neunjährigem Besuch der Oberrealschule in Weiden von 1956- 1965 erwarb ich am 20.6.1965 das Abitur. Von November 1965 - Januar 1972 studierte ich in Erlangen Medizin und schloss am 14. 1. 1972 mit dem Staatsexamen ab. Seit dem 1. 4. 1972 bin ich als Medizinalassistent an der 2. Medizinischen Klinik in Nürnberg angestellt.

Bernhard Schiessl

Offsetdruck-Fotodruck

J. Hög, 8520 Erlangen Hauptstr. 109, (Nähe Martin-Luther-Platz) Tel. 22990